




Riesgos ambientales y sanitarios de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en El Salvador:

Estudio de caso de la Industria Azucarera
en la Subcuenca Brazo del río Paz

Versión completa - abril 2021





Esta publicación se rige bajo los principios de copy left.
Se permite la reproducción total o parcial de su contenido
sin necesidad de autorización previa, con fines educativos,
divulgativos y no comerciales, siempre y cuando se cite la
fuente.

Editor:

ASOCIACIÓN UNIDAD ECOLÓGICA SALVADOREÑA, UNES,
Calle Camagüey 6G, Colonia Yumuri, San Salvador,
El Salvador, América Central.

Autores y contribuciones:

MSC. MICHEL WILDI	Evaluador del riesgo químico y ecotoxicólogo Capítulos: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 Investigador Eirene Suisse/UNES.
LIC. MAURICIO V. JANDRES	Hidrobiólogo Subcapítulos: 6.2 y 8.3 Investigador, CENSALUD/UES.
LICDA. NATALIA SANTAMARÍA	Geofísica Subcapítulo: 4.3.2 y mapas Escuela de física, UES.
LICDA. ANDREA PADILLA MORENO	Internacionalista Subcapítulo: 5.3.2 y revisiones Especialista en género y ecofeminismo, UNES.
LIC. GUILLERMO RECINOS PAREDES	Biólogo Subcapítulo: 4.3.3 Investigador asociado, CENSALUD/UES.
LIC. GREGORIO RAMÍREZ	Sociólogo Subcapítulo: 4.3.1 Organización y articulación territorial, UNES.
PHD. DINA LÓPEZ	Profesora Emérita del Departamento de Ciencias Geológicas, Universidad de Ohio. Asesoramiento y acompañamiento científico y revisiones de la investigación

Contactos:

michel.wildi@gmail.com; unescomunicaciones@gmail.com

Propuesta de cita:

Wildi, M.; Jandres Vásquez, M.; Santamaría, N.; Padilla Moreno, A.; Recinos Paredes, G. V.; Villanueva Ramírez, G.; López, D., 2021. Riesgos ambientales y sanitarios de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en El Salvador: Estudio de caso de la Industria Azucarera en la Subcuenca Brazo del río Paz. Asociación Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES). San Salvador, El Salvador. 221 pp.

Revisiones: Licda. Andrea Padilla, Lic. Edgar Quinteros, Prof. Walter Wildi y Lic. Luis González.

Agradecimientos: En primer lugar, me gustaría agradecer a EIRENE Suisse por hacer posible este intercambio voluntario en la organización anfitriona Unidad Ecológica Salvadoreña (UNES). La investigación fue posible gracias al conocimiento del territorio y a los lazos de confianza que la UNES ha podido desarrollar a lo largo de más de 30 años de compromiso con 18 comunidades de la zona baja del Río Paz. La UNES (Nidia Hidalgo, Carolina Amaya) y EIRENE Suisse (Patricia Carron) también proporcionaron los medios financieros y el personal para el transporte, el equipo de muestreo y los análisis químicos. También me gustaría dar las gracias a OXFAM Bélgica, cuyo financiamiento cubrió parte de las actividades de muestreo, y a Christian Aid, cuyo financiamiento cubrió parte de los análisis químicos.

Quiero agradecer al Centro de Investigación y Desarrollo en Salud (CENSALUD) de la Universidad de El Salvador (UES), a su biólogo costero marino y amigo el Lic. Mauricio Vásquez Jandres. Esta labor fue posible gracias a esta institución, que participó activamente en el proceso de autorización de la toma de muestras, en la búsqueda de laboratorios capaces de realizar los análisis y en su profundo conocimiento de los humedales costeros.

En segundo lugar, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a la Asociación Intercomunitaria para el Desarrollo y la Gestión Sustentable de la Microcuenca El Aguacate (ACMA) y a las 18 comunidades que nos acompañaron durante todos los procesos de análisis de los grupos focales, las encuestas por entrevistas y el muestreo.

El contenido científico de esta investigación ha sido releído y comentado por diferentes expertos. En este contexto, estoy muy agradecido con el Lic. Edgar Quinteros, científico y experto en el tema de la contaminación ambiental por plaguicidas en El Salvador, por su relectura crítica de los capítulos sobre la salud humana. También me gustaría agradecer al Lic. Luis González por la corrección de los capítulos legales de esta obra. Por último, también me gustaría dar las gracias a la Licda. Andrea Padilla por haber corregido todo el documento.

Finalmente, varios estudiantes de la Universidad de El Salvador (UES) y la Universidad Centroamericana José Simeón Cañas (UCA) que han realizado sus horas sociales en la UNES han contribuido a la compilación de datos de química ambiental, la elaboración de mapas GIS, así como la corrección del contenido en español de este trabajo. También quiero agradecer al graduado en Trabajo Social, Eduardo Eliseo Calderón Ramírez, que corrigió este trabajo. Quiero agradecer a la estudiante Claudia Lorena Ramos Canizales, de la carrera de Ingeniería Química de la (UCA), quien hizo gran parte de la transcripción de las entrevistas, así como la sistematización de los datos sobre la química ambiental y la ecotoxicología de los plaguicidas.

Tabla de contenidos

Introducción.....	13
1. Regulación de plaguicidas en El Salvador	15
1.1 Introducción.....	15
1.2 Metodología.....	15
1.3 Resultados	15
1.3.1 Marco normativo internacional.....	15
1.3.2 Marco normativo nacional.....	19
1.4 Conclusión	23
2. Carga de agroquímicos en El Salvador y su uso en cañales.....	24
2.1 Introducción.....	24
2.2 Metodología.....	24
2.3 Resultados.....	26
2.3.1 Dinámica de importación de plaguicidas y fertilizantes	26
2.3.2 Masa de ingredientes activos en los plaguicidas usados en 2018-2019.....	27
2.3.3 Uso de agroquímicos durante el ciclo de producción de la caña de azúcar.....	33
2.4 Conclusión	39
3. Identificación de los peligros de las sustancias activas utilizadas en los cañales	41
3.1 Introducción.....	41
3.2 Metodología.....	41
3.2.1 Identificación de los peligros para la salud humana.....	41
3.2.2 Sistema de puntuación para salud humana	44
3.2.3 Identificación de los peligros para el sistema acuático	45
3.2.4 Sistema de puntuación para el sistema acuático	46
3.3 Resultados.....	46
3.3.1 Identificación de peligros y sustancias preocupantes para la salud humana	46
3.3.2 Identificación de peligros y sustancias de preocupación para el sistema acuático.....	50
3.3.3 Síntesis de los peligros para la salud humana y el medio ambiente.....	53
3.4 Conclusión	53
4. Descripción de la Subcuenca Brazo del río Paz y del Manglar de Garita Palmera	56
4.1 Introducción	56
4.2 Metodología.....	56
4.3 Resultados.....	57
4.3.1 Descripción socioeconómica del área de estudio	57

4.3.2 Descripción hidrográfica y uso del suelo.....	58
4.3.3 Descripción biofísica del humedal de Garita Palmera.....	61
4.3.4 Análisis de actores y conflictos en el territorio.....	64
4.4 Conclusión.....	66
5. Exposición humana a los plaguicidas.....	67
5.1 Introducción.....	67
5.2 Metodología.....	69
5.2.1 Encuestas con entrevistas.....	69
5.3 Resultados.....	69
5.3.1 Exposición de los trabajadores y trabajadoras a plaguicidas y otras sustancias nocivas en los cultivos de azúcar.....	69
5.3.2 Distribución de responsabilidades y condiciones de trabajo, impactos inducidos sobre las mujeres de las comunidades.....	73
5.3.3 Exposición a plaguicidas y otras sustancias nocivas de las poblaciones adyacentes a los campos de cultivos de azúcar.....	77
5.4 Conclusión.....	80
6. Exposición del sistema acuático y de los humedales.....	82
6.1 Introducción.....	82
6.2 Concentración ambiental en el medio estuario de El Salvador.....	83
6.3 Metodología.....	90
6.3.1 Estrategia y plan de muestreo.....	90
6.2.3 Método de muestreo.....	91
6.4 Resultados.....	95
6.4.1 Calidad del agua y sedimento del Río El Aguacate.....	95
6.4.2 Calidad del agua en los pozos.....	99
6.4.3 Análisis de peces y sedimento del humedal de Garita Palmera.....	103
6.5 Discusión sobre exposición a los diferentes plaguicidas.....	107
6.6 Conclusiones.....	113
7. Efectos y evaluación de riesgos para la salud humana.....	115
7.1 Introducción.....	115
7.2 Metodología.....	115
7.2.1 Cálculo del cociente de riesgo para los aplicadores de plaguicidas.....	115
7.2.2 Efectos agudos y crónicos sobre la salud comunicados en El Salvador.....	118
7.3 Resultados.....	118
7.3.1 Riesgos para las/os aplicadoras/es de plaguicidas.....	118
7.3.2 Efectos agudos sobre la salud humana.....	118
7.3.3 Efectos crónicos sobre la salud humana.....	119
7.4 Conclusiones.....	123
8. Efectos y evaluación de riesgos para el sistema acuático y de los humedales.....	124
8.1 Introducción.....	124
8.2 Metodología.....	124
8.3 Efectos de plaguicidas en diferentes organismos estuarinos/marinos y manglar.....	125
8.3.1 Efectos de los insecticidas.....	125

8.3.2 Efectos de los herbicidas	127
8.4 Evaluación de riesgo de los niveles de plaguicidas medidos	128
8.5 Calidad del agua - otros problemas encontrados.....	129
8.6 Conclusiones.....	130
9. Recomendaciones.....	131
9.1 A nivel nacional	132
9.1.1 La creación de una plataforma nacional para defender a las personas con enfermedades renales crónicas	132
9.1.2 Reforzar los controles y la vigilancia del cumplimiento de las normas laborales	132
9.1.3 Refuerzo de los controles y vigilancia del cumplimiento de los Decretos No 423 y No 18	132
9.1.4 Actualización de la Ley de Control de Plaguicidas, Fertilizantes y Productos de Uso Agrícola (LCP)	133
9.1.5 Actualización de la Ley de Medio Ambiente (LMA)	134
9.2 Aplicar un plan de acción para reducir los riesgos para la salud y el medio ambiente derivados del uso de plaguicidas y fertilizantes.	135
9.3 Exigencias mínimas a cumplir para la producción de caña de azúcar	135
9.4 Responsabilidad empresarial: incentivos para mejorar la gestión del agua.....	136
9.5 Promover métodos de producción alternativos	136
9.6 A nivel comunitario	137
10. Referencias.....	140
11. Anexos	157
11.1 Carta metodológica: Análisis del territorio sensible al conflicto	157
11.2 Cronología de los acontecimientos posteriores a la aceptación del decreto N.º 473	160
11.3 Lista de los peligros ambientales	161
11.4 Priorización de las sustancias preocupantes a monitorear en el sistema acuático	162
11.5 Matriz ambiental a ser muestreada.....	164
11.6 Elección del laboratorio analítico	169
11.7 Calidad organoléptica del agua de pozo en la zona de estudio al final de la temporada de lluvias.....	171
11.8 Evaluación de riego químico de plaguicidas muestreados.....	172

Lista de figuras

Figura 1 El Salvador está localizado en América Central, entre el norte y sur del Continente Americano, limita al poniente con Guatemala, al norte con Honduras, al oriente, con Honduras y Nicaragua en el Golfo de Fonseca y al sur con el Océano Pacífico.....	13
Figura 2 Dinámica de la importación de fertilizantes en El Salvador de marzo 2018 hasta febrero 2019 (fuentes de los datos MAG, 2019).....	26
Figura 3 Dinámica de la importación insecticidas, herbicidas y fungicidas en El Salvador de marzo 2018 hasta febrero 2019 (fuentes de los datos MAG, 2019).....	27
Figura 4 Lista de sustancias activas en herbicidas utilizadas en El Salvador en cantidades superiores a 1 tonelada por año (fuentes de los datos analizados MAG, 2019).....	28
Figura 5 Lista de insecticidas por sustancia activa utilizadas en El Salvador por año en cantidades superiores a 1 tonelada por año (fuentes de los datos MAG, 2019).....	28
Figura 6 Lista de fungicidas por sustancia activa utilizadas en El Salvador por año en cantidades superiores a 1 tonelada por año (fuentes de los datos MAG, 2019).....	29
Figura 7 Superficie total cultivada en El Salvador (MAG, 2019).....	30
Figura 8 Consumo total de ingredientes activos de sustancias utilizadas como herbicidas, insecticidas y fungicidas según el tipo de cultivo.....	31
Figura 9 Consumo de los tres principales ingredientes activos utilizados como herbicidas.....	31
Figura 10 Consumo de los tres principales ingredientes activos utilizados como insecticidas.....	32
Figura 11 Consumo de los tres principales ingredientes activos utilizados como fungicidas.....	32
Figura 12 Tipo de fertilizante que se encuentra alrededor de los campos de caña de azúcar (foto UNES©).....	33
Figura 13 Cantidades de herbicidas aplicados en los cañales anualmente.....	39
Figura 14 Cantidades de insecticidas aplicados en los cañales anualmente.....	40
Figura 15 Frecuencia de los efectos agudos y crónicos de las 39 sustancias activas caracterizadas.....	47
Figura 16 Número de sustancias caracterizadas como T+mT (tóxicas y muy tóxicas), P+mP (persistentes y muy persistentes), B+mB (bioacumulativas y muy bioacumulativas), PT (persistentes y tóxicas), PBT (pesistentes, bioacumulativas, tóxicas), mPmB (muy persistentes y muy biacumulativas), PMT (persistentes, móviles, tóxicas), mPmM (muy persistentes y muy móviles).....	51
Figura 17 Resultados del análisis de los peligros para el medio ambiente y la salud humana. En el eje x, se obtienen puntuaciones para los peligros para la salud y en el eje y, se obtienen puntuaciones para los peligros para el ecosistema acuático y los acuíferos. El tamaño de los puntos es proporcional a las toneladas de productos importados a El Salvador en el año 2018-2019 (MAG, 2019a).....	54
Figura 18 Red de agua de la microcuenca El Aguacate delimitada con el borde azul grueso al centro del mapa. El punto de defluencia del Río Paz ("Entrada en el Río del Aguacate") y el desvío del Río Paz para el territorio guatemalteco que se produjo en 1974 están marcados en el mapa. La red de agua del zanjón se caracteriza por modificaciones morfológicas muy fuertes del lecho natural de río para las actividades de irrigación de los cañales.....	59

Figura 19 A) Transporte de agua bombeada desde Río Paz al cañal (abril 2019, N13 47.480, W090 06.941). B) Desvío del río Aguacate mediante la excavación de acequia con una excavadora para regar los cañales (abril 2019, N13 46.540, W090 05.572).	60
Figura 20 Distribución de las precipitaciones durante el año según los datos recogidos desde 1970 hasta 2014 en las estaciones de medición de Ahuachapán, La Hachadura y Cara Sucia (Basagoitia Quiñonez & Flores, 2016).	61
Figura 21 Mapa del uso del suelo de la zona baja del Río Paz basado en los datos del MARN 2012	62
Figura 22 Área de Conservación Barra de Santiago– El Imposible.....	63
Figura 23 Articulación de los diferentes grupos de partes interesadas relacionados con el tema de los plaguicidas a nivel nacional y territorial, empezando por las instituciones reguladoras nacionales, los proveedores de plaguicidas, los usuarios, las partes interesadas indirectamente afectadas por su uso y las partes interesadas en la protección del medio ambiente.	64
Figura 24 Equipo de protección y fumigación (bomba rociadora de mochila) utilizado en los cañales constituidos de botas, pantalones, camisa larga de algodón y una gorra.	71
Figura 25 Campos de caña de azúcar. La bandera de aproximadamente 4 m de altura en el centro del campo se utiliza para la orientación de los planos que aplican los agentes de maduración. Los campos se queman después de 4 a 7 semanas de la aplicación de los agentes de maduración.	72
Figura 26 A. El fuego se prende en los campos de caña de azúcar al final de la tarde, el día antes de la cosecha. B. Campos de caña de azúcar después de la calcinación. C. Transporte de la caña de azúcar bruto al ingenio.	73
Figura 27 Las familias de esta comunidad tienen sus casas entre la carretera por donde pasan los camiones durante la zafra y colindan con los cañales.....	78
Figura 28 A. Quemar intencionalmente las parcelas de caña de azúcar la noche antes de la cosecha. B. Campos de azúcar de caña listos para la cosecha ©UNES.....	79
Figura 29 Mapa de la zona de estudio que incluye las estaciones de medición (E1-E9), la red hidrográfica, el tipo de acuíferos y las zonas de cultivo de azúcar. Fuente: elaboración en base a coberturas SIG MARN (2011) y mapa de uso de suelos Basagoitia Quiñonez & Flores (2016).	92
Figura 30 Se perforan pozos cada 40 metros aproximadamente en los cañales para regar los campos entre febrero y mayo.	129
Figura 31. Factores impiden el uso más seguro de los pesticidas por parte de las comunidades al tratar los campos de caña de azúcar.....	138
Figura 32 A) Clasificación de los herbicidas según sus usos, B) Clasificación de los insecticidas según sus usos, A') Clasificación de los herbicidas según su índice de peligrosidad PBMT, B) Clasificación de los insecticidas según su índice de peligrosidad PBMT, A'') Clasificación de los herbicidas según el índice de prioridad, B'') Clasificación de los insecticidas según la índice prioridad.	163
Figura 33 Calidad organoléptica del agua de los pozos de agua doméstica de 9 comunidades de la microcuenca El Aguacate (diciembre 2020).	171

Lista de tablas

Tabla 1 Resumen de plaguicidas regulados por el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) y los productos que se permite importar o no en El Salvador en virtud del Convenio de Rotterdam. En el anexo A del Convenio se especifican las sustancias que deben prohibirse y/o eliminarse y en el anexo B las sustancias cuya producción y utilización deben restringirse. El Anexo C contiene sustancias cuyas emisiones derivadas de la producción no intencional deben reducirse o eliminarse.	17
Tabla 2 Plaguicidas prohibidos en El Salvador además de las sustancias contempladas en los acuerdos internacionales de Estocolmo, Rotterdam y Montreal.	20
Tabla 3 Sustancias reguladas por el Acuerdo No. 18 (29/01/2004), las medidas especiales se detallan en el Acuerdo.	20
Tabla 4 Sustancias activas estipuladas en el Acuerdo No. 473 que no estén prohibidas por la legislación nacional o internacional en El Salvador.	21
Tabla 5 Lista de sustancias activas incluidas en el registro nacional de productos sanitarios utilizados en la producción de azúcar de caña y su modo de acción.	36
Tabla 6 Notación y clasificación según los indicadores de peligro de las sustancias activas. Las columnas marcadas con un "1" son sustancias que cumplen los criterios de clase de peligro establecidos en esta investigación para los indicadores de carcinogenicidad, mutagenicidad, reprotoxicidad, disruptor endocrino, toxicidad renal, toxicidad hepática, neurotoxicidad, toxicidad aguda, corrosividad cutánea, corrosividad ocular, sensibilización cutánea y respiratoria. Las sustancias marcadas con un "0,5" son las que causan irritación en la piel o en los ojos. Las sustancias de la columna "toxicidad aguda" marcadas con un "2" o un "3" son sustancias letales (tóxicas y muy tóxicas).	48
Tabla 7 Resultado de la puntuación de los criterios de PBMT para las sustancias activas con efecto plaguicida.	52
Tabla 8 Servicios naturales de ecosistemas locales en la Subcuenca del río Aguacate. Fuente: Plan de Incidencia de MESAMA, UNES, 2019.	58
Tabla 9 Análisis de los problemas, causas y actores involucrados en conflictos en el territorio con un alto grado de tensión.	65
Tabla 10 Calendario de exposición a los plaguicidas y otras sustancias nocivas en relación con el ciclo de producción de la caña de azúcar.	70
Tabla 11 Concentraciones medidas de organoclorados y organofosforados en la zona costera sur-occidental y sitio Ramsar Barra de Santiago.	83
Tabla 12 Concentración en los ríos de arriba del área de Acajutla - Los Cóbano.	85
Tabla 13 El nivel de concentración medido en el Río Jiboa (Rubio, 1994).	86
Tabla 14 Plaguicidas Organofosforados y organoclorados presentes en el Estero de Jaltepeque: (Tomado y adaptado Domínguez & Paz 1985).	87
Tabla 15 Plaguicidas detectados en algunos peces, moluscos y crustáceos en Bahía de Jiquilisco. Tomado de López-Zepeda (1977) citado por Rubio (1994).	88

Tabla 16 Descripción de las estaciones para la toma de muestras. Sin mayores conocimientos de la dinámica de los acuíferos, se tomaron entonces solamente muestras de plaguicidas en los pozos más cercas a los cañales. Al respecto de los análisis de fertilizantes (y otros iones mayores), se consideró únicamente el punto en el acuífero menos contaminado (punto más arriba de la cuenca) y los pozos abajo de los cañales donde había concentraciones más altas de sólidos disueltos totales. Al respecto de los análisis de sedimento, se hizo solamente análisis de AMPA en los sitios más cercanos a los cañales porque se degradan rápidamente.	93
Tabla 17 Parámetros físico-químicos con desviación estándar (\pm SD) y análisis de herbicidas en el río El Aguacate.	96
Tabla 18 Resultados de los análisis de iones mayores del Río El Aguacate en la estación E8.	98
Tabla 19 Contaminantes analizados, rendimiento analítico del laboratorio (LOD límite de detección; LOQ límite de cuantificación), valores de referencia para la protección del medio acuático, resultados analíticos de los lugares seleccionados.	99
Tabla 20 Descripción de los pozos muestreados que comprende: nivel piezométrico en función del suelo (profundidad del agua del suelo en metros), nivel piezométrico en función de la altitud, nivel piezométrico medio anual (desviación estándar), nivel piezométrico mínimo registrado, nivel piezométrico máximo.	100
Tabla 21 Parámetros físico-químicos de los acuíferos en el día de la medición y el promedio registrado desde mayo de 2019 hasta octubre de 2020. Los parámetros reportados son la temperatura, el pH, la conductividad, el total de sólidos disueltos y el potencial redox.	100
Tabla 22 Concentraciones medidas de los iones mayoritarios (mg/L).	101
Tabla 23 Cuadro que resume las concentraciones iónicas expresadas en miliequivalentes por litro, el balance iónico, las relaciones iónicas de determinados elementos químicos.	102
Tabla 24 Cuadro que resume el rendimiento analítico del laboratorio contratado, los valores guías para la salud humana y los resultados del análisis de plaguicidas en las aguas de pozo.	103
Tabla 25 Resultados del análisis de las muestras de peces recogidas en la zona húmeda y costera de Garita Palmera. LOD: Límite de detección del plaguicida, LOQ: Límite de cuantificación. RfD: Dosis de referencia estimada del plaguicida para la exposición humana diaria que no supone un riesgo de efectos adversos para la salud durante la vida del plaguicida. Valor límite calculado: Valor límite estimado de la concentración en las redes para los pescadores de subsistencia.	104
Tabla 26 Descripción cualitativa de los sedimentos muestreados en los distintos lugares y del nivel de oxígeno en la columna de agua.	106
Tabla 27 Resultados de los niveles de pesticidas y metales traza medidos en los sedimentos del Río El Aguacate y el humedal de Garita Palmera.	108
Tabla 28 Dosis Sistémica Prevista (mg ingrediente activo/ kg p.c.*día) calculada según las ecuaciones (1) y (2) y el escenario (trabajando con 2,4-D y atrazina) descrito en la metodología para las tres fases de trabajo en cañales donde los operadores están en contacto directo con los plaguicidas.	118
Tabla 29 Cociente de riesgo calculado para las/os operadoras/es comunitarias/os que aplican plaguicidas en los campos de caña de azúcar utilizando el ejemplo de una mezcla de dos herbicidas de uso común.	118
Tabla 30 Efecto de plaguicidas organoclorados en organismos estuarinos/marinos.	126
Tabla 31 Efecto de plaguicidas organofosforados en organismos estuarinos.	127
Tabla 32 Acontecimientos posteriores a la aceptación por parte de GANA y el FMLN de la revisión de la Ley de Plaguicidas.	160

Tabla 33 Índice de prioridad, compartimento ambiental pertinente para el muestreo y el tiempo de biodegradación de los ingredientes activos.....	167
Tabla 34 Lista de sustancias activas con efectos plaguicidas que pueden analizarse en El Salvador.....	169
Tabla 35 Muestras puntuales de aminofosfato, bupiridilo y organofosforados en el agua del Rio El Aguacate el 14 de octubre a las 1.30 pm am hasta 2.15 pm en la estación E7 y a las 11:05 am hasta 11.55 am en la estación E8.....	172
Tabla 36 Muestras puntuales de bupiridilo y organofosforados en el agua de tres comunidades de la subcueca El Aguacate el 14 de octubre 2020.....	173
Tabla 37 Muestras puntuales de aminofosfato, bupiridilo y organofosforados en los sedimento del humedal de Garita Palmera el 13 de enero 2021.....	174
Tabla 38 Muestras puntuales de organoclorados y organofosforados en los peces del humedal de Garita Palmera el 13 de enero 2021.....	176

Introducción

La última iniciativa política para regular los plaguicidas de El Salvador (Figura 1) fue lanzada el 5 de septiembre de 2013. De hecho, en esa fecha, el Decreto 473 fue aceptado por la Asamblea Legislativa, estipulando, entre otras cosas, una lista de sustancias que deben prohibirse y la creación de un comité técnico para evaluar el riesgo para la salud y el medio ambiente de los plaguicidas. Desafortunadamente, esta idea, apoyada por el entonces presidente de la República Mauricio Funes, nunca se hizo realidad.

Hasta la fecha, el último aporte de la legislación salvadoreña para el manejo de plaguicidas se remonta 15 años atrás y sólo 57 sustancias o grupos de sustancias plaguicidas están reguladas en el país por decretos nacionales y acuerdos internacionales. Sin embargo, en El Salvador, más de \$55 millones de sus productos son importados al país cada año. Durante los 12 meses del año, más de 80,000 toneladas de fertilizantes, 3,000 toneladas de herbicidas, 1,200 toneladas de insecticidas y 138 toneladas de fungicidas (MAG, 2019b) se aplican a los cultivos sin ningún control sobre las condiciones en las que se aplican estos productos o los peligros que suponen para la salud humana y el medio ambiente. Estos datos indican que se aplican 1.33 libras de pesticida cada año por cada habitante en El Salvador, asumiendo una población de 6.5 millones de personas (WPR, 2021).

Aunque las autoridades competentes no ejercen ningún control y el marco jurídico es deficiente, los efectos ya se dejan sentir en la salud pública y el medio ambiente. El Salvador se encuentra a la cabeza de la lista de países centroamericanos con la tasa más alta de enfermedades renales crónicas (47 muertes/100.000 habitantes por año), incluyendo la Insuficiencia Renal Crónica de fuentes desconocidas que afecta principalmente a los agricultores de las zonas costeras que cultivan principalmente caña de azúcar (Hoy et al., 2017). La incidencia de intoxicaciones agudas corresponde a casi uno de cada mil salvadoreños

(94,6 intoxicaciones/100.000 habitantes) (Quinteros & López, 2019). Estas cifras son probablemente sólo la punta del iceberg porque no incluyen todos los efectos crónicos que estos productos tienen sobre la salud de los usuarios, sus familias y la población en general, expuesta a alimentos y agua contaminados. A nivel ambiental, los principales sitios ecológicos de El Salvador (sitios Ramsar) de importancia mundial están amenazados por la pérdida de biodiversidad en riqueza y cantidad de especies. Además de las ya muy elevadas presiones climáticas sobre los ecosistemas,



Figura 1 El Salvador está localizado en América Central, entre el norte y sur del Continente Americano, limita al poniente con Guatemala, al norte con Honduras, al oriente, con Honduras y Nicaragua en el Golfo de Fonseca y al sur con el Océano Pacífico.

existen presiones antropogénicas en términos de sobreexplotación de los recursos de agua dulce y de contaminación por plaguicidas en los cultivos a gran escala.

En respuesta a la pasividad de las autoridades competentes y a los efectos que el uso de pesticidas está haciendo en los diferentes ecosistemas del país y la salud humana, el objetivo de este trabajo de investigación científica es relanzar el proceso de evaluación del riesgo de los plaguicidas proporcionando cierta información clave, actual y contextualizada en El Salvador sobre los riesgos para la salud y el medio ambiente en los que incurre en este país el uso de plaguicidas. Este trabajo incluye la producción de azúcar como un estudio de caso porque está presente principalmente en el área de estudio y se caracteriza por una producción sumamente intensa que incluye un alto consumo de agua y plaguicidas. Además, estudios estadísticos de la correlación geográfica entre las áreas cultivadas con diferentes tipos de cultivo, la temperatura ambiental y el número de enfermos renales en El Salvador indican que la caña de azúcar es el cultivo que más se correlaciona con esta enfermedad (Vandervort et al., 2014).

Esta investigación se llevó a cabo en tres fases principales, que incluyeron un examen de la literatura científica y un análisis de los datos existentes, encuestas sociales y finalmente un muestreo preliminar de los plaguicidas y fertilizantes en el sistema acuático. Así pues, se abordaron cuestiones específicas en los niveles nacional y territorial. Las preguntas de investigación que se abordan en este estudio son las siguientes:

1. ¿Cuál es el marco jurídico nacional e internacional que se aplica en El Salvador en lo que respecta a la reglamentación de la importación y el uso de plaguicidas? ¿Qué deficiencias podrían destacarse?

2. ¿Qué productos químicos se fumigan en los campos de azúcar en relación con el ciclo de producción? ¿Cuáles son los volúmenes importados en el país y los peligros identificados de cada sustancia para la salud humana y los ecosistemas acuáticos y terrestres?

3. ¿Cómo están expuestas a estos productos las personas que trabajan en estos cultivos y las comunidades circundantes? ¿Cuáles son los demás efectos directos e indirectos de la forma de exposición de estos monocultivos en estas poblaciones?

4. ¿Qué sustancias deben ser objeto de vigilancia en el sistema acuático y hay alguna prueba que sugiera que existe un riesgo significativo de exposición del medio acuático a esos productos?

5. ¿Qué recomendaciones se pueden hacer a nivel reglamentario, a nivel de vigilancia de la contaminación y a nivel de utilización de esos productos para reducir los riesgos para la salud humana y el medio acuático?

Este documento de investigación incluye 9 capítulos que cubren los aspectos legales y reglamentarios de los plaguicidas (capítulo 1), la carga total de plaguicidas utilizados en El Salvador y el ciclo de producción de la caña (capítulo 2), la identificación de los peligros para la salud y el medio ambiente de los ingredientes activos utilizados en los cañales (capítulo 3), la descripción del caso de estudio (capítulo 4), la exposición de las comunidades (capítulos 5) y del medio ambiente a los plaguicidas (capítulos 6), y luego la evaluación de los riesgos para la salud (capítulo 7) y el medio ambiente (capítulo 8). El capítulo 9 se centra en las recomendaciones legales, las medidas de reducción de riesgos y algunas alternativas a tener en cuenta.

1

Regulación de plaguicidas en El Salvador



1.1 Introducción

Los instrumentos jurídicos de que dispone un Estado para regular la fabricación, importación, utilización y eliminación de sustancias químicas potencialmente peligrosas y contaminantes son elementos clave para garantizar la salud de su población y preservar su medio ambiente. El propósito de este capítulo es determinar qué herramientas legales y técnicas tiene El Salvador a su disposición y qué sustancias con efectos plaguicidas están actualmente reguladas en El Salvador.

1.2 Metodología

El análisis del marco jurídico internacional se basa en los acuerdos internacionales ratificados por El Salvador sobre sustancias químicas, incluidos los plaguicidas. Entre ellos figuran los Convenios de Basilea y Estocolmo y el Protocolo de Montreal. Las sustancias de acción plaguicida reguladas en estos acuerdos y las condiciones específicas que se aplican a su importación,

producción y comercialización en El Salvador han sido recopiladas en forma de tablas.

El análisis de los instrumentos normativos aplicados a nivel nacional se basa en la ley sobre control de plaguicidas, fertilizantes y productos para uso agropecuario (LCP 1973, reformas 1993), la ley del medio ambiente (LMA 1998, actualización 2012) y la ley de sanidad vegetal y animal (LSVA 1995, Reformas 2005). Se realizó un análisis cronológico y una comparación de la lista de sustancias reguladas internacionalmente y la lista de sustancias reguladas nacionalmente. También se llevó a cabo un análisis de las últimas iniciativas en materia de reglamentación nacional de los plaguicidas.

1.3 Resultados

1.3.1 Marco normativo internacional

El Salvador ratificó el Convenio de Basilea sobre el control de los movimientos transfronterizos de los

desechos peligrosos y su eliminación el 13 de diciembre de 1991 (SBC, 2011). Esta convención se aplica en El Salvador a través de las Leyes Ambientales y el Código Penal. El artículo 59 de la Ley de Medio Ambiente prohíbe la introducción de residuos peligrosos en el territorio nacional, así como su tránsito, descarga o almacenamiento (ERS, 2016). El Código Penal establece penas de privación de libertad para este tipo de delitos, que van de 6 a 10 años de prisión (ERS, 2016). Los residuos peligrosos incluyen entre otros a «desechos resultantes de la producción, la preparación y la utilización de biocidas y productos fitofarmacéuticos, con inclusión de desechos de plaguicidas y herbicidas que no respondan a las especificaciones, caducados¹, o no aptos para el uso previsto originalmente» (citación anexa VIII, A4030, PNUMA, 1992).

El Salvador ratificó el Convenio de Rotterdam el 24 de febrero de 2004 para la aplicación del procedimiento fundamentado previo a ciertos plaguicidas y productos químicos peligrosos objeto de comercio internacional (SCR, 2017b). El objetivo del convenio es la protección de la salud humana y el medio ambiente frente a daños potenciales causados por ciertos productos químicos peligrosos comercializados internacionalmente (SCR, 2010). Este convenio tiene en cuenta las condiciones económicas y de uso del país importador. En el Anexo III del Convenio se determinó una lista de 50 sustancias químicas, incluidos 35 plaguicidas. Para cada una de estas sustancias se llevó a cabo el procedimiento de consentimiento fundamentado previo (CFP) y se establecieron restricciones de importación por país. La columna "Convenio Rotterdam" en la Tabla 1 resume los plaguicidas autorizados o no para la importación a El Salvador.

El Salvador firmó el 30 de julio de 2001 y ratificó el 27 de mayo de 2008 siete años después el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP). El convenio está vigente en El Salvador desde el 25 de agosto de 2008 con la reserva de que el país no reconoce la jurisdicción obligatoria de la Corte Internacional de Justicia (UNEP, 2014).

Los países signatarios del Convenio de Estocolmo se comprometen a tomar las medidas necesarias para restringir, reducir o eliminar la producción y el uso de determinados contaminantes orgánicos persistentes (SSC, 2018).

En el anexo A del Convenio se especifican las sustancias que deben prohibirse y/o eliminarse y en el anexo B las sustancias cuya producción y utilización deben restringirse. El Anexo C contiene sustancias cuyas emisiones derivadas de la producción no intencional deben reducirse o eliminarse. Estos anexos enumeran 32 sustancias y grupos de sustancias, 16 de las cuales tienen usos de plaguicidas. Según la última decisión de mayo de 2019, el dicofol se añadirá el anexo A (SSC, 2019). La columna "Convenio Estocolmo" de la Tabla 1 enumera los plaguicidas regulados por los Anexos A, B, C del Convenio aplicable a El Salvador.

Aunque los plaguicidas prohibidos por el Convenio de Estocolmo no se han importado a Centroamérica desde el año 2000 (Bravo et al., 2011), si se han usado en el pasado, y su comercio y vertido ilegal, así como su persistencia, siguen siendo una importante preocupación ambiental (UNEP, 2002).

Los Convenios de Estocolmo y Rotterdam regulan no menos de 43 sustancias o grupos de sustancias que pueden utilizarse como plaguicidas. La tabla 1 muestra las sustancias con actividad plaguicida y de su marco reglamentario. Cada sustancia tiene sus propias particularidades en cuanto a la regulación de su producción, uso, incluidas sus exenciones específicas y los requisitos para sus importaciones. Los detalles están disponibles en los documentos reguladores originales (SCR, 2017b; SSC, 2019).

Finalmente, el Protocolo de Montreal, ratificado por El Salvador el 2 de octubre de 1992, relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono, prohíbe varias sustancias cloradas y fluoradas. Se incluyen los clorofluorocarbonos que pueden utilizarse con fines agrícolas (ONU, 2019).

¹ "Caducados" significa no utilizados durante el periodo recomendado por el fabricante y que es posible que hayan reaccionado químicamente y se hayan convertido en otros productos secundarios.

Tabla 1 Resumen de plaguicidas regulados por el Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) y los productos que se permite importar o no en El Salvador en virtud del Convenio de Rotterdam. En el anexo A del Convenio se especifican las sustancias que deben prohibirse y/o eliminarse y en el anexo B las sustancias cuya producción y utilización deben restringirse. El Anexo C contiene sustancias cuyas emisiones derivadas de la producción no intencional deben reducirse o eliminarse.

Producto químico	CAS	Uso (SCR, 2017a; SSC, 2019)	Convenio Estocolmo (SSC, 2018)	Convenio Rotterdam (SCR, 2017a)
2,4,5-T y sus sales y ésteres	93-76-5	Herbicida	-	No se permite
Alaclor	15972-60-8	Herbicida	-	Se permite
Aldicarb	116-06-3	Insecticida, nematocida y acaricida	-	Con condiciones ¹
Aldrina	309-00-2	Insecticida	Anexo A	No se permite
Alfa hexaclorociclohexano	319-84-6	Subproductos de la síntesis del lindano	Anexo A	-
Azinfos-metilo	86-50-0	Insecticida	-	Con condiciones ¹
Beta hexaclorociclohexano	319-85-7	Subproductos de la síntesis del lindano	Anexo A	-
Binapacril	485-31-4	Fungicida y acaricida	-	Con condiciones ¹
Captafol	2425-06-1	Fungicida	-	No se permite
Carbofurano	1563-66-2	Acaricida, insecticida y nematocida	-	Con condiciones ¹
Clordano	57-74-9	Insecticida	Anexo A	No se permite
Clordecona	143-50-0	Insecticida	Anexo A	
Clordimeformo	6164-98-3	Insecticida, acaricida y ovicida	-	No se permite
Clorobencilato	510-15-6	Plaguicida (Acaricida)	-	No se permite
Clorofluorocarbonos	No Asignado	Plaguicidas y otros	Incluido en el protocolo de Montreal	
Compuestos de mercurio ²	-	Plaguicidas	-	No se permite
Compuestos de Tributilestaño	1461-22-9 ³	Plaguicidas	-	Se permite la importación
DDT	50-29-3	Insecticida	Anexo B	No se permite la importación
Dicloruro de etileno	107-06-2	Biocidas de control de plagas no agrícolas	-	Con condiciones ¹
Dicofol	115-32-2	Acaricida	Anexo A	-
Dieldrina	60-57-1	Insecticida	Anexo A	No se permite la importación
Dinitro-orto-cresol (DNOC) y sus sales ⁴	534-52-1	Exfoliante, herbicida insecticida, larvacida, ovicida y fungicida.	-	Con condiciones ¹
Dinoseb y sus sales y esterres	88-85-7	Plaguicida, fungicida, herbicida, desecante, insecticida	-	No se permite la importación
EDB (dibromuro de etileno)	106-93-4	Insecticida, nematocida fumigante	-	No se permite la importación
Endosulfán de calidad técnica sus isómeros conexos	33213-65-9, 115-29-7	Herbicida, insecticida, fungicida, algicida, desinfectante aplicaciones fueron en semillas agrícolas, cuero, preservación de madera, agua de torres de enfriamiento, cuerdas y sistemas de molinos de papel ⁵	Anexo A	Con condiciones ¹

Producto químico	CAS	Uso (SCR, 2017a; SSC, 2019)	Convenio Estocolmo (SSC, 2018)	Convenio Rotterdam (SCR, 2017a)
Endrina	72-20-8	Insecticida, rodenticida	Anexo A	-
Fluoroacetamida	640-19-7	Insecticida, rodenticida	-	No se permite la importación
Formulaciones benomilo, carbofurano, thiram ⁵	137-26-8, 1563-66-2, 17804-35-2	Formulaciones plaguicidas extremadamente peligrosas	-	Con condiciones ¹
Fosfamidónt	13171-21-6	Formulaciones plaguicidas extremadamente peligrosas	-	No se permite la importación
HCH (mezcla de isómeros)	608-73-1	Insecticida	-	No se permite la importación
Heptacloro	76-44-8	Insecticida	Anexo A	No se permite la importación
Hexaclorobenceno	118-74-1	Insecticida	Anexo C	No se permite la importación
Lindano	58-89-9	Insecticida y contra los ectoparásitos	Anexo A	No se permite la importación
Methamidofos	10265-92-6	Insecticida	-	Con condiciones ¹
Metilparatión ⁷	298-00-0	Formulaciones plaguicidas extremadamente peligrosas	-	Con condiciones ¹
Mirex	2385-85-5	Insecticida y retardante de fuego	Anexo A	-
Monocrotofós	6923-22-4	Un insecticida y acaricida	-	No se permite la importación
Oxido de etileno	75-21-8	Plaguicida	-	Con condiciones ¹
Paratión	56-38-2	insecticida/acaricida	-	No se permite la importación
Pentaclorobenceno	608-93-5	Fungicida, retardante de fuego	Anexo C	-
Pentaclorofenol y sus sales y ésteres	87-86-5	Herbicida, insecticida, fungicida, algicida, desinfectante	Anexo A	No se permite la importación
Toxafeno	8001-35-2	Insecticida, acaricida	Anexo A	No se permite la importación
Triclorfón	52-68-6	Insecticida, acaricida.	-	Con condiciones ¹

¹ Permitir la importación con sujeción a determinadas condiciones. ² Incluidos compuestos inorgánicos de mercurio, compuestos alquílicos de mercurio y compuestos alcoialquílicos y arílicos de mercurio. ³ CAS: 1983-10-4, 2155-70-6, 24124-25-2, 4342-36-3, 56-35-9, 85409-17-2. ⁴ Tales como sal de amonio, sal de potasio y sal de sodio. ⁵ Formulaciones de polvo seco que contienen una combinación de benomilo en una cantidad igual o superior al 7%, carbofurano en una cantidad igual o superior al 10% y thiram en una cantidad igual o superior al 15%. ⁶ Formulaciones líquidas solubles de la sustancia que sobrepasen los 1000 g/l de ingrediente activo. ⁷ Concentrados emulsificables (CE) con 19,5% o más de ingrediente activo y polvos que contengan 1,5% o más de ingrediente activo.

1.3.2 Marco normativo nacional

Los plaguicidas están regulados en tres leyes nacionales, a saber, la Ley sobre control de plaguicidas, fertilizantes y productos para uso agropecuario (LCP 1973, actualización 1993), la Ley del medio ambiente (LMA 1998, actualización 2012) y la Ley de sanidad vegetal y animal (LSVA 1995, actualización 2005).

De acuerdo con el párrafo (c) del Artículo 50 sobre la prevención y control de la contaminación del suelo de la LMA, el Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) promueve “el manejo integrado de plagas y el uso de fertilizantes, fungicidas y plaguicidas naturales en la actividad agrícola, que mantengan el equilibrio de los ecosistemas, con el fin de lograr la sustitución gradual de los agroquímicos por productos naturales bioecológicos”(Art. 50, LMA, 2012). Este artículo tiene como objetivo final sustituir todos los productos agroquímicos por productos agroecológicos. El artículo 50 especifica que el MARN debe garantizar que los productos químicos utilizados tengan un impacto mínimo en el ecosistema. Además, la LMA también especifica que una ley especial especificará los productos agroquímicos cuyo uso está prohibido (LMA, 2012).

La LSVA especifica las medidas que deben adoptarse para la protección de la salud vegetal y animal. En el artículo 1 se estipula más específicamente, que las acciones desarrolladas por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) deben estar en consonancia con la protección del medio ambiente y la salud humana (LSVA, 2005). Esta ley especifica que el MAG es responsable de coordinar con otros actores en la gestión integrada de plagas, es decir, métodos acordes con la protección ambiental (CMACCGP, 2016).

La LCP regula la producción, comercialización, distribución, importación y utilización de diversos plaguicidas y otras sustancias utilizadas con fines veterinarios y ganaderos (LCP, 2005). Esta ley es el eje central que proporciona el marco regulatorio para la importación, venta y uso de plaguicidas. El artículo 5 define diferentes términos técnicos que se utilizan en el contexto de esta investigación. El término pesticida

proviene de la palabra inglesa “pest”, que significa insectos o plantas dañinas, así como del latín “cida”, que significa golpear, derribar y matar (CNRTL, 2019).

El término “plaguicidas” se define en la página 3 de la presente Ley LCP como “toda sustancia química o químicobiológica o mezclas de sustancias destinadas a prevenir o combatir plagas o enfermedades en animales y vegetales, tales como: insecticidas, fungicidas, germicidas, nematocidas, acaricidas, moluscocidas, rodenticidas, ornitocidas, bactericidas, viricidas, repelentes, atrayentes y otros productos para uso tanto en los animales como en los vegetales (...)”.

Los herbicidas son parte de los principales grupos de plaguicidas que se definen como “sustancia que se utiliza para la destrucción o eliminación de hierbas indeseables o dañinas a los cultivos agrícolas”.

La LCP define los fertilizantes como “comúnmente conocidos como abonos químicos u orgánicos: son toda sustancia o mezcla de sustancias que se incorporan al suelo o a las plantas en cualquier forma, con el fin de promover o estimular el crecimiento o desarrollo de éstas o aumentar la productividad del suelo”.

Los requisitos que deben cumplirse durante su uso se mencionan en el Capítulo VIII de la LCP, donde se deben tomar medidas específicas para asegurar que las aguas superficiales y las fuentes de agua no estén contaminadas (LCP, 2005). La omisión de estas obligaciones se califica como falta grave con sanciones pecuniarias o como suspensión temporal o definitiva de la institución (Art. 52 LCP, 2005). Sobre la base de la LCP, se publicaron dos acuerdos ejecutivos, entre ellos el N° 151 (27/06/2000) y el N° 18 (29/01/2004).

El artículo 1 del Acuerdo N° 151 (MAG, 2000) prohíbe el registro, la importación, la exportación, la fabricación, la comercialización y la distribución de 34 sustancias activas de plaguicidas, ya sea en forma técnica o en formulación. Técnicamente hablando, es sólo una lista de 32 sustancias diferentes porque toxafeno y canfeno clorado, así como etileno dibromuro y 1,2 dibromoetano son las mismas moléculas. De estas 32 sustancias, 12 están prohibidas o se reducirán en virtud del Convenio de Estocolmo y 26 están prohibidas de importarlas a

El Salvador en virtud del Convenio de Rotterdam. Las otras seis sustancias prohibidas en El Salvador que no forman parte del Convenio de Estocolmo, Rotterdam o el Protocolo de Montreal se presentan en la siguiente tabla (Tabla 2). Estas sustancias están prohibidas o estrictamente reguladas en los Estados Unidos o en Europa.

El Acuerdo N°18 (MAG, 2004) regula la comercialización, distribución, almacenamiento y uso de una lista de 12 plaguicidas (Tabla 3). Cinco de estos plaguicidas sólo pueden ser importados condicionalmente a El Salvador. Las actividades mencionadas anteriormente están reguladas por medio de documentos especiales.

Tabla 2 Plaguicidas prohibidos en El Salvador además de las sustancias contempladas en los acuerdos internacionales de Estocolmo, Rotterdam y Montreal.

Producto químico	CAS	Uso
Daminozide	1596-84-5	Regulador del crecimiento de las plantas
Leptofos	21609-90-5	Plaguicida, fungicida
Fluoro Acetato de Sodio	62-74-8	Rodenticida
Quintozeno	82-68-8	Fungicida
Dibromo Cloro Propano	96-12-8	Nematicida
Compuestos Arsenicales	No Asignado	Insecticida, fungicida and herbicida

Tabla 3 Sustancias reguladas por el Acuerdo No. 18 (29/01/2004), las medidas especiales se detallan en el Acuerdo.

Productos químicos	CAS	Aplicaciones aéreas	Medidas especiales	Ejemplo de medida especiales
Aldicarb	116-06-3		4	> 20 m de las fuentes de agua.
Carbofurano	1563-66-2	Prohibido	3	Autorizada para ser aplicada en sistemas de riego por goteo
Dimetoato	60-51-5	Prohibido	2	No se podrá utilizar en los cultivos siguientes: papa, tomate, soya, cítricos, piña y arroz.
Endosulfán	33213-65-9 115-29-7	Prohibido	1	> 20 m de las fuentes de agua.
Etoprofós	13194-48-4		3	> 20 m de las fuentes de agua.
Forato	298-02-2	Prohibido	6	Capacitación para el distribuidor y el usuario en su manejo adecuado.
Fosfuro de aluminio	20859-73-8		4	Únicamente para el control de plagas en granos almacenados.
Methamidofos	10265-92-6	Prohibido	1	No se podrá utilizar en los siguientes cultivos: algodón, pastos, ornamentales, café, apio.
Metil paratión ⁷	298-00-0	Prohibido	3	No deberá ser usado en cultivos de café, caña de azúcar, cítricos, brócoli, tomate, chile, tabaco, arroz y plantas ornamentales.
Metomil	16752-77-5	Prohibido	4	> 20 m de las fuentes de agua.
Paraquat	4685-14-7	Prohibido	3	Se prohíben las aplicaciones en ríos, lagos, lagunas y otras fuentes de agua o acueductos.
Terbufós	13071-79-9	Prohibido	5	Solamente se podrá vender con la prestación del equipo de aplicación y de protección personal adecuados.

La Asamblea Legislativa aprobó el 5 de septiembre de 2013, con 45 votos a favor, el Decreto N°473 sobre la reforma de la LCP (MARN, 2013a). El artículo 2 de esta reforma contiene una lista de 53 sustancias activas y productos comerciales prohibidos en El Salvador. El artículo 3-A prohíbe los fertilizantes que contengan metales pesados y metaloides. El artículo 3-B menciona la creación de un comité técnico encargado de formular los requisitos para el registro, regulación y control de plaguicidas y fertilizantes (ALRES, 2013). Este comité técnico está integrado por personas de los Ministerios de Salud (MINSAL), del MARN y del MAG. El entonces presidente de la República, Carlos Mauricio Funes Cartagena, recibió el decreto el 19 de septiembre de 2013 y lo devolvió con observaciones a la Asamblea Legislativa el 1 de octubre del mismo año, señalando que la lista de 53 sustancias contenía sólo 11 sustancias que no estaban ya prohibidas por la reglamentación nacional e internacional (Funes, 2013). Se hizo una segunda observación sobre el hecho de que la lista propuesta contenía una mezcla de nombres de sustancias activas y productos comerciales (pág. 3 (Funes, 2013)), sugiriendo mencionar únicamente los principios activos nombrados de acuerdo con

la nomenclatura internacionalmente aceptada de la IUPAC. La lista de sustancias activas que no están prohibidas en El Salvador en relación con el Acuerdo N°473 se muestran en la tabla 4.

Los 42 agroquímicos aprobados por el entonces presidente de El Salvador para que fueran prohibidos legislativamente son: 1) Metil paratión, 2) Endosulfán, 3) Metamidofos, 4) Aldicarb, 5) DDT, 6) Leptofos, 7) Etil Paratión, 8) Endrina, 9) Dieldrín, 10) Aldrín, 11) Heptacloro, 12) Clordimeform, 13) Toxafeno, 14) Hexaclorobenceno, 15) Clordecon, 16) Arsenicales, 17) Fluoro Acetatato de Sodio, 18) Dibromo Cloro Propano, 19) Clorofluorocarbonos, 20) Dodecacloro, 21) 2,4,5-T, 22) Dibromuro de Etileno, 23) Captafol, 24) Pentaclorofenol, 25) HCH, 26) Fosfamidon, 27) Monocrotofos, 28) Quintozeno, 29) 1,2-Dibromoetano, 30) Canfeno Colorado, 31) Lindano, 32) Cianuro de Sodio, 33) Dinoseb y Sales Dinoseb, 34) Clordano, 35) Daminozide, 36) Compuesto de Mercurio, 37) Clorobencilato, 38) Fluoracetamida, 39) Bifenil, 40) Diclorinados, 41) Dioxinas y 42) Furanos.

Los 11 agroquímicos excluidos de la lista de prohibición fueron los siguientes: 1) Paraquat (gramoxone);

Tabla 4 Sustancias activas estipuladas en el Acuerdo No. 473 que no estén prohibidas por la legislación nacional o internacional en El Salvador.

Sustancia	CAS	Uso
2,4-D	94-75-7	Herbicidas
Carbofurano	1563-66-2	Acaricida, insecticida y nematocida
Clorpirifós	2921-88-2	Insecticida
Dicamba	1918-00-9	Herbicida
Dimetoato	60-51-5	Acaricida, insecticida
Forato	298-02-2	Insecticida, acaricida
Glifosato	1071-83-6	Herbicidas
Imidacloprid	138261-41-3 105827-78-9	Insecticida
Metomil	16752-77-5	Insecticida
Paraquat	4685-14-7	Herbicida
Terbufós	13071-79-9	Insecticida, acaricida
Thiodicarb	59669-26-0	Insecticida



2) Metomil (lannate), 3) Carbofuran (furan); 4) 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid (látigo); 5) Clorpirifos, 6) Glifosato (ranger), 7) 2-4 D (hedonal), 8) Imidacloprid, Thiodicarb (blindaje), 9) Terbufos (counter), 10) Dimetoato, y 11) Forato.

De igual manera, en la modificación a la reforma propuesta, el presidente retoma un Comité de carácter asesor y consultivo, no obstante, este estaba integrado por el MAG, MARN y MINSAL. Dicho Comité sería el encargado de emitir dictámenes a solicitud del MAG, cuando éste lo considerase pertinente. La transición de un Comité Técnico a un comité de carácter únicamente consultivo y solo a petición del MAG, debilitaba la posibilidad de contar con iniciativas que permitieran detener el uso de sustancias tóxicas y sus efectos en la salud y el ambiente.

Es importante señalar que el Presidente mencionaba repetidamente la necesidad de que la prohibición de las sustancias activas tuviese base en principios científicos, preferiblemente en una evaluación de riesgos (p. 4, 7, 8 y 12 (Funes, 2013)). Estos últimos debían tener en cuenta los elaborados por las organizaciones internacionales competentes ((Funes, 2013)). Claramente, el grupo que asesoró al presidente en esta decisión desconocía o hizo parecer que desconocía la cantidad de literatura que justifica la prohibición de estas sustancias, que

ya eran prohibidas en otros países más desarrollados. Actualmente, el decreto ha sido archivado.

La siguiente cronología disponible en el anexo I, muestra algunos hechos interesantes de este proceso. Parece que dos causas principales podrían explicar el fracaso en completar este proceso de revisión de la ley: 1. La intervención de los grupos de presión nacionales (por ejemplo, la industria cafetalera) e internacionales (por ejemplo, CropScience) para cuestionar el proceso, 2. El fracaso en la creación del comité técnico responsable de la evaluación del riesgo de las 11 sustancias restantes.

Protección de las Áreas Naturales Protegidas contra la contaminación

Las áreas naturales protegidas están cubiertas por disposiciones especiales establecidas en la Ley de áreas naturales protegidas (LANP, 2005). Estas áreas protegidas incluyen humedales como los sitios Ramsar situados en la zona de estudio. El objetivo de esta ley es la conservación de la diversidad biológica, asegurar el funcionamiento de los procesos ecológicos y garantizar la perpetuación de los sistemas naturales. En el capítulo VII de esta ley se tipifican los delitos y las penas relacionados con los daños causados por un tercero a estas áreas protegidas. El artículo 45 estipula las infracciones denominadas "muy graves", entre las que

se incluye “el uso en la zona o zona de amortiguación de productos agroquímicos que no estén autorizados por la autoridad responsable”(LANP, 2005).

Control de calidad de los agroquímicos que importa El Salvador

Adicionalmente a los problemas relacionados con la legislación de pesticidas en El Salvador, es necesario considerar que usualmente no existe un control de calidad adecuado del contenido químico de los productos que se importan. La falta de laboratorios adecuados con pocas excepciones como el laboratorio del MAG (que no tiene la atribución legal de realizar análisis de los productos importados) o los laboratorios de MINSAL, la capacidad de análisis orgánico de estos productos es muy limitada y no se realiza rutinariamente. Se sabe que hay evidencias de que muchos plaguicidas pueden contener metales pesados.

El contenido de metales pesados en fertilizantes es también motivo de preocupación. Los fertilizantes a menudo contienen metales pesados como Cd, Co, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe and Mn (e.g. Gimeno-Garcia et al., 1996). Los fosfatos pueden contener concentraciones altas de estos metales y arsénico, como es el caso de los fosfatos de Marruecos (e.g. Cd concentration, Mar and Okazaki, 2012). Entre 2011 y 2014, cada año El Salvador importó más del 97% del fosfato de calcio de Marruecos (Atlas of Economic Complexity, accessed 2/15/2021). Hasta donde es de nuestro conocimiento, no se realizan determinaciones de metales pesados en los fertilizantes que se aplican en El Salvador.

1.4 Conclusión

Existe un marco regulatorio para 57 sustancias o grupos de sustancias que pueden ser utilizadas como plaguicidas en El Salvador. De estas 57 sustancias, sólo 14 no hacen referencia a una obligación de un acuerdo internacional y están reguladas por un acuerdo adoptado a nivel nacional. La única actualización del reglamento salvadoreño de plaguicidas que data del 2013 ha sido archivada, lo que significa que no se aplicará. Esto significa que desde el año 2004, no se ha considerado ninguna evidencia científica sobre la evaluación de riesgos para la salud y el medio ambiente producida en los últimos 16 años para adaptar el marco legislativo salvadoreño. Este vacío reglamentario podría dar lugar a riesgos significativos para la salud de la población y del medio ambiente.

Por ejemplo, el Reglamento (CE) n° 1107/2009 del Parlamento Europeo sobre la comercialización de plaguicidas (EC, 2009) ha permitido adoptar una posición sobre 1,353 sustancias activas (34 están pendientes) utilizadas como plaguicidas, 855 de las cuales no están aprobadas para su uso en el mercado europeo (EC, 2009). De las 12 sustancias activas del Acuerdo Ejecutivo de El Salvador No. 18 (MAG, 2004), sólo se aprueban fosfuro de aluminio y metomil. Como se ve en la tabla 3, El Salvador restringe el uso aéreo de sólo 9 plaguicidas. Por ejemplo, a escala europea, por regla general, no se permite la aplicación de plaguicidas por el aire desde 2009 (Zwetsloot et al., 2018).

2

Carga de agroquímicos en El Salvador y su uso en cañales



2.1 Introducción

En el marco de la evaluación de los riesgos químicos vinculados al uso de plaguicidas en El Salvador y más concretamente en los cultivos de caña de azúcar, es necesario contar con 3 insumos esenciales. En primer lugar, es necesario obtener una lista de las formulaciones comerciales utilizadas y sus principales ingredientes activos. En segundo lugar, es esencial conocer las cantidades utilizadas para estimar la carga total de plaguicidas a la que está sujeto el país. Por último, como parte de esta investigación, es necesario saber cuándo y cómo se aplican sus productos en los cultivos de azúcar.

2.2 Metodología

La lista de agroquímicos registrados en El Salvador y los datos de importación fueron provistos por la división de Registro y Fiscalización de la Dirección General de Sanidad Vegetal y Animal del MAG.

Estos datos se utilizaron para determinar la dinámica de la importación de productos fitosanitarios durante el año, para calcular las cantidades totales fumigadas de cada ingrediente activo y para estimar el consumo absoluto de plaguicidas para cada tipo de cultivo.

Para determinar esos tres elementos, se ha creado una base de datos con el programa OpenOffice Base para cruzar información de diferentes tablas y facilitar los cálculos. Este banco de datos contiene, el listado de productos registrados en El Salvador (180,000 datos), fertilizantes y plaguicidas importados por cada mes desde septiembre de 2018 a agosto de 2019 (65,025 datos) y las superficies cultivadas por tipo de cultivo mencionadas en el anuario agropecuario del MAG 2018-2019 (MAG, 2018, pp. 2018-2019).

Determinación de la dinámica de las importaciones

El análisis de la dinámica de importación de agroquímicos en El Salvador se basa en la cantidad en toneladas de productos comerciales importados

cada mes entre septiembre de 2018 y agosto de 2019. Para cada mes, se sumaron las cantidades importadas según las clases “fertilizantes”, “herbicidas”, “insecticidas” y “fungicidas”. Para el cálculo de las cantidades importadas de formulaciones²; se consideró el uso declarado en el registro para cada producto. Se consideraron como herbicida la clase de uso herbicida del registro; se consideraron como insecticidas las clases de usos insecticidas, acaricidas y nematicidas; se consideraron como fungicidas las clases fungicidas y bactericidas; se consideraron como fertilizantes las clases fertilizantes, foliares y micronutrientes. Los productos comerciales vendidos en forma líquida se estimaron con una densidad de 1 kg/L para reportar los datos de importación en toneladas por clase de uso. Este análisis ofrece una visión general de las masas de plaguicidas y fertilizantes que entran en el país cada año. Sin embargo, hay que tener en cuenta que cada producto contiene ingredientes activos en diferentes concentraciones. Por este motivo, la carga total de plaguicidas utilizada se calculó posteriormente en función de las masas de ingredientes activos. El mismo trabajo se realizó para determinar el valor en dólares importado por año por clase de uso.

Cálculo de la carga total de plaguicidas fumigadas en El Salvador

En primer lugar, la suma por productos comerciales utilizados se realizó durante el período de septiembre de 2018 y agosto de 2019 en las funciones del lenguaje SQL (Structured Query Language) contenidas en OpenOffice Base. Los registros de importación contienen una columna “Utilizada” por lo que sólo se han añadido las filas que contienen “SI”.

En segundo lugar, se exportó a OpenOffice la lista de las cantidades totales de productos comerciales utilizados durante este período. Los productos comerciales pueden contener una mezcla de dos o tres sustancias activas diferentes en distintas concentraciones. Los productos comerciales que contenían más de un principio activo fueron considerados varias veces dependiendo de la concentración que presentaban de cada principio activo, se consideró realmente la masa

del producto en cada mezcla. Las concentraciones de los 397 ingredientes activos contenidos en los 320 productos comerciales se determinaron a partir de la información obtenida de las páginas web de los distribuidores, las fotos de las etiquetas y los registros telefónicos. Cuando se conocían las concentraciones de ingrediente activo por producto comercial, se multiplicaba la cantidad total del producto comercial fumigado por la concentración de cada ingrediente activo. Se podrían calcular las sumas anuales de cada ingrediente activo utilizado.

Cantidades estimadas de fumigación por tipo de cultivo

En primer lugar, se buscó en el registro de productos fitosanitarios del MAG cada uno de los productos comerciales importados entre septiembre de 2018 y agosto de 2019 para conocer en qué tipo de cultivos se pueden aplicar.

A continuación, se investigó la superficie para cada tipo de cultivo en el anuario agropecuario del MAG 2018-2019. Se calculó un porcentaje teórico de superficie tratada por tipo de cultivo para cada uno de los productos comerciales. Este cálculo se basa en dos supuestos, uno de los cuales es que la tasa aplicada es la misma para cada tipo de cultivo y que todos los cultivos a los que se destina un producto han sido tratados.

Por ejemplo, el producto denominado “FOLIKILL 1.5 DP” se utiliza para los cultivos de tomate (851 Mz) y chile (274 Mz). Nuestra hipótesis es que este producto se fumigó equitativamente en todas las parcelas de tomate y chile del país. Del total de 286,000 kg de FOLIKILL 1.5 DP utilizados durante el año, entonces 216,343 kg (76%) se atribuyen a los cultivos de tomate y 69,657 kg (24%) a los de chile. Estas cantidades se multiplican luego por el porcentaje de ingrediente activo contenido en el producto (1.5% de chlorpyrifos).

En el último paso, la cantidad de cada ingrediente activo se añade por tipo de cultivo. Para facilitar la interpretación, los resultados se expresaron según la siguiente agrupación: café, caña de azúcar, frutas (aguacate, cacao, cítricos, guineo, mango, plátano, sandía), granos básicos (arroz, frijol, maíz, sorgo), hortalizas (ayote, chile, güisquil, papa, pepino, repollo,

² Mezclas de varios componentes químicos (aditivos, ingredientes activos, disolvente) a diferentes concentraciones

tomate, zuchini) y otros (algodón, etc.). Los resultados se presentan en la I.A. 1 (Información Adicional 1.).

Uso de agroquímico durante el ciclo de producción de la caña de azúcar

La identificación de las sustancias químicas utilizadas en los cañales se llevó a cabo mediante el cruce de información de la literatura, el Listado de Productos Registrados (MAG, 2019) y entrevistas semiestructuradas con ingenieros y operadoras/es agrícolas. La metodología de las entrevistas cualitativas se especifica en el capítulo 5.2.1.

2.3 Resultados

2.3.1 Dinámica de importación de plaguicidas y fertilizantes

De septiembre de 2018 a agosto de 2019, El Salvador importó \$55,133,442 en productos biocidas (uso casero), plaguicidas y fertilizantes (uso agrícola). Los plaguicidas representan el 46% de este total (\$25,357,711); el 42.2% son para los fertilizantes (\$23'270'038) y el 11,8% para los biocidas (\$6,505,693) utilizados en los hogares (MAG, 2019a). En cuanto a los plaguicidas,

los herbicidas representan la mayor parte de este comercio de importación (\$13,814,479), seguidos de los insecticidas (\$6,645,339) y los fungicidas (\$3,409,103) (MAG, 2019b)).

A título indicativo, las cantidades importadas de productos comerciales a El Salvador durante el año 2019 ascendieron a 80,230 toneladas de fertilizantes, 4,729 toneladas de plaguicidas y 1,498 toneladas de biocidas. Los plaguicidas incluyen 3,016 toneladas de herbicidas, 1,254 toneladas de insecticidas, 138 toneladas de fungicidas y otros productos (por ejemplo coadyuvante agrícola) (MAG, 2019a).

Los datos de importación de fertilizantes, herbicidas, insecticidas y fungicidas reflejan indirectamente su uso a través de las demandas del mercado, aunque probablemente haya un desfase de unas semanas entre la fecha de importación y la de aplicación por el movimiento de la mercadería. Las importaciones mensuales de estos productos se muestran en los gráficos de abajo (Figura 2, Figura 3, datos brutos disponibles I.A. 2), con el fin de analizar la dinámica de su utilización. Las cantidades de fertilizantes importadas son 18 veces superiores a las de los plaguicidas. Las importaciones de fertilizantes siguen una lógica de "dientes de sierra" durante todo el año, con un máximo

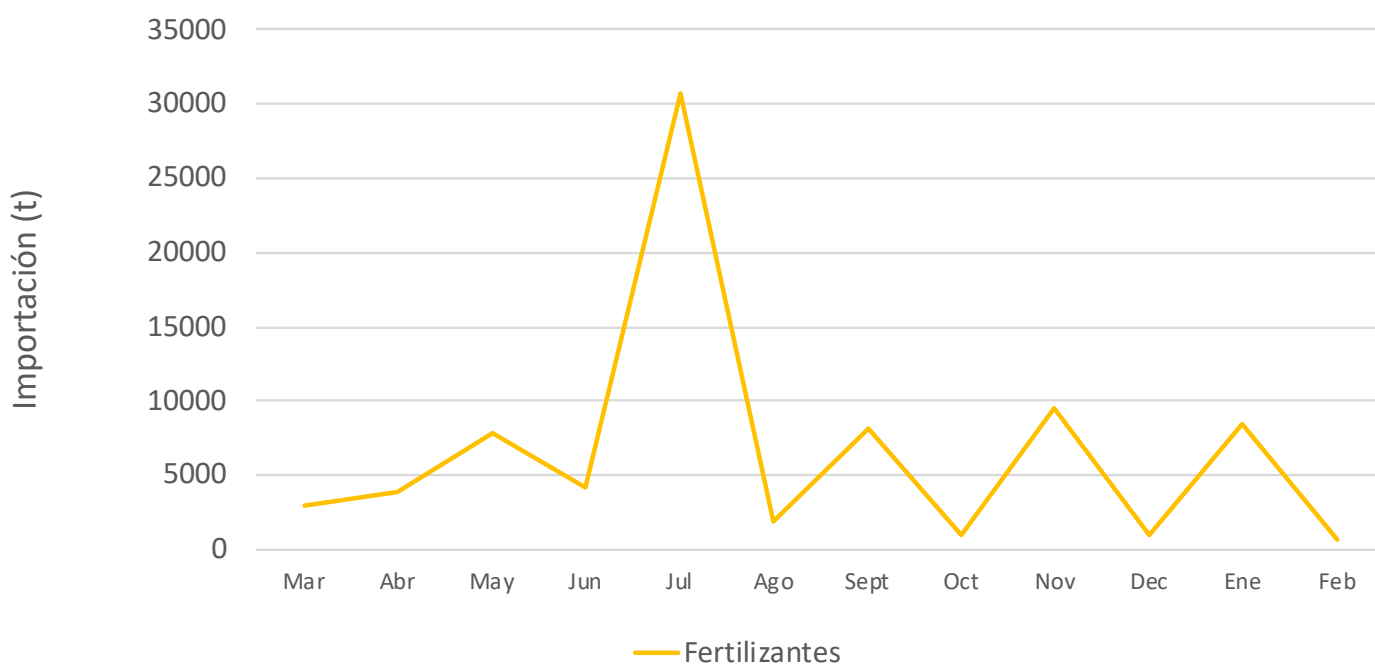


Figura 2 Dinámica de la importación de fertilizantes en El Salvador de marzo 2018 hasta febrero 2019 (fuentes de los datos MAG, 2019).

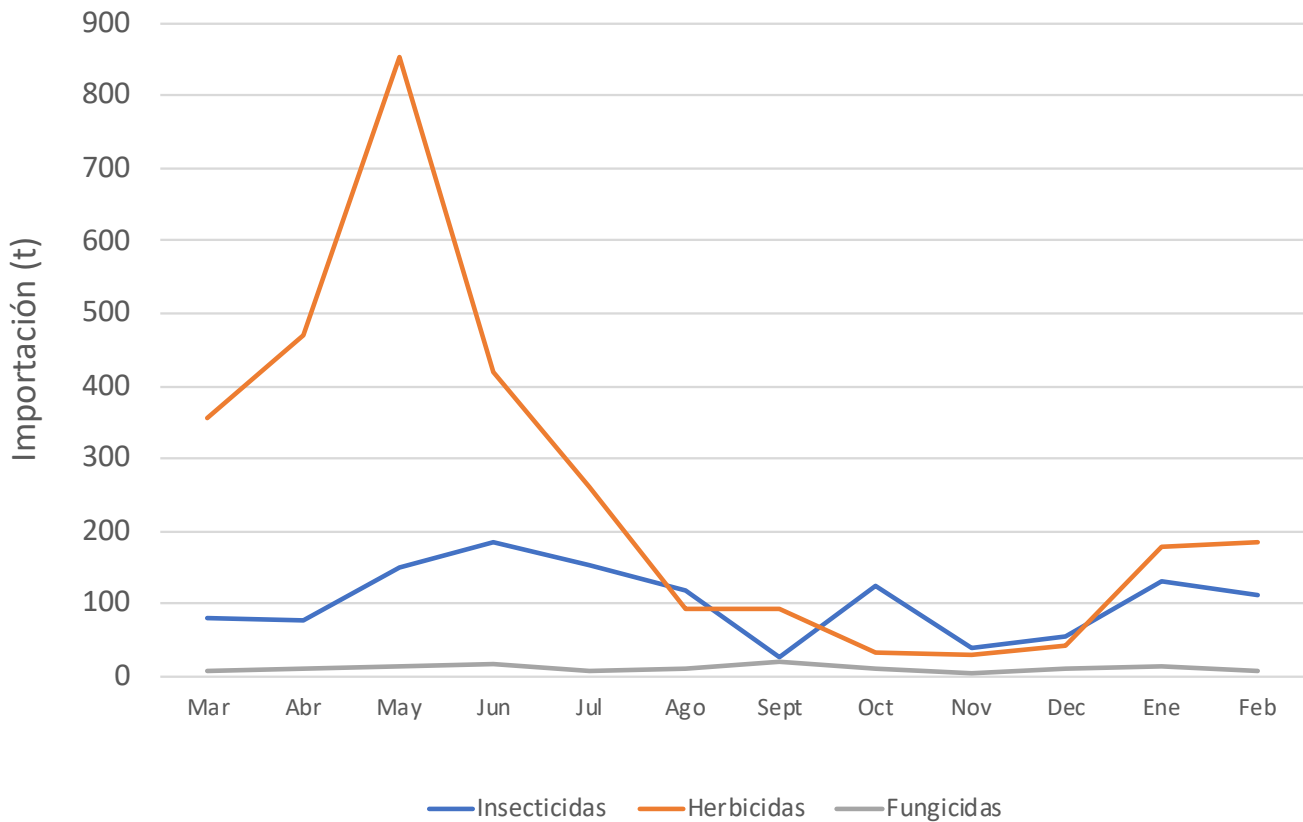


Figura 3 Dinámica de la importación insecticidas, herbicidas y fungicidas en El Salvador de marzo 2018 hasta febrero 2019 (fuentes de los datos MAG, 2019).

en julio, con una cantidad importada 7 veces superior a la media de los otros meses del año.

Los herbicidas son los plaguicidas más importados en el país con el máximo durante el mes de mayo, abril y junio son los segundos meses con los niveles más altos de importaciones. Los insecticidas forman una dinámica diferente con 3 picos de importación, incluyendo uno en octubre, enero y junio. Los fungicidas corresponden a tres máximos en el año, incluyendo uno en septiembre, uno en enero y uno en junio.

En general, las importaciones de fertilizantes y otros plaguicidas están fuertemente vinculadas al clima, con un máximo de importaciones principalmente en invierno, cuando se plantan maíz, frijoles, sorgo y otros cultivos (G. Sandoval, comunicación personal, 2019). En la producción de azúcar, los fertilizantes se aplican 150 días después de la cosecha, entre marzo y julio (Medardo & Molina, 2016). La humedad es esencial para que las plantas absorban los fertilizantes más fácilmente a través de sus sistemas radiculares y para evitar que los productos se evaporen antes de que entren en el suelo

y las plantas (Sandoval, 2019). Este es también el caso de los plaguicidas, que se importan principalmente durante los meses de abril, mayo y junio, a principios del invierno, cuando son más solicitados por los productores y las instituciones gubernamentales y no gubernamentales (Sandoval, 2019).

2.3.2 Masa de ingredientes activos en los plaguicidas usados en 2018-2019

El registro de productos agrícolas de El Salvador incluye 1,429 productos comerciales, incluyendo 893 plaguicidas para uso agrícola, 434 fertilizantes y además incluye 102 biocidas para uso doméstico (MAG, 2019a)

Los 3603 productos comerciales importados y utilizados en El Salvador entre septiembre de 2018 y agosto de 2019 fueron analizados por su contenido de ingredientes activos con acción plaguicida y utilizados en la agricultura (insecticidas, herbicidas, fungicidas y rodenticidas).

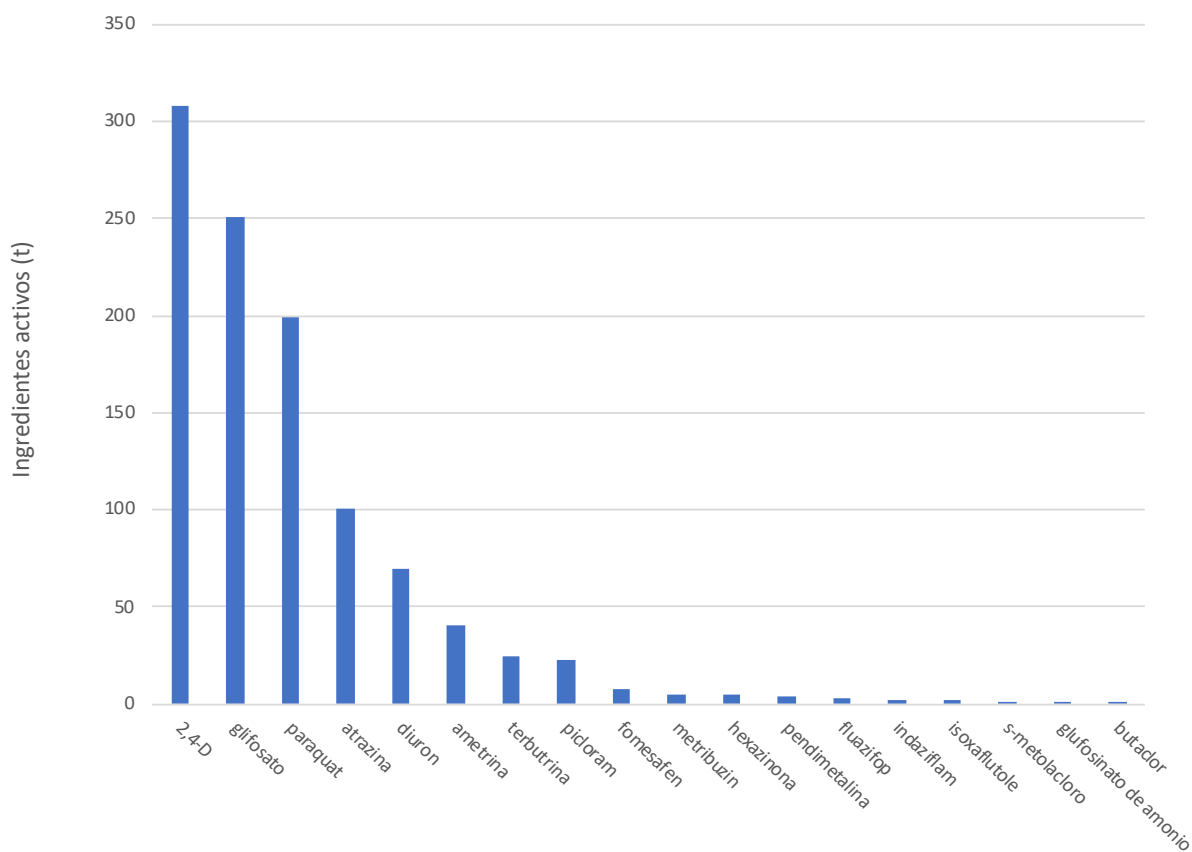


Figura 4 Lista de sustancias activas en herbicidas utilizadas en El Salvador en cantidades superiores a 1 tonelada por año (fuentes de los datos analizados MAG, 2019).

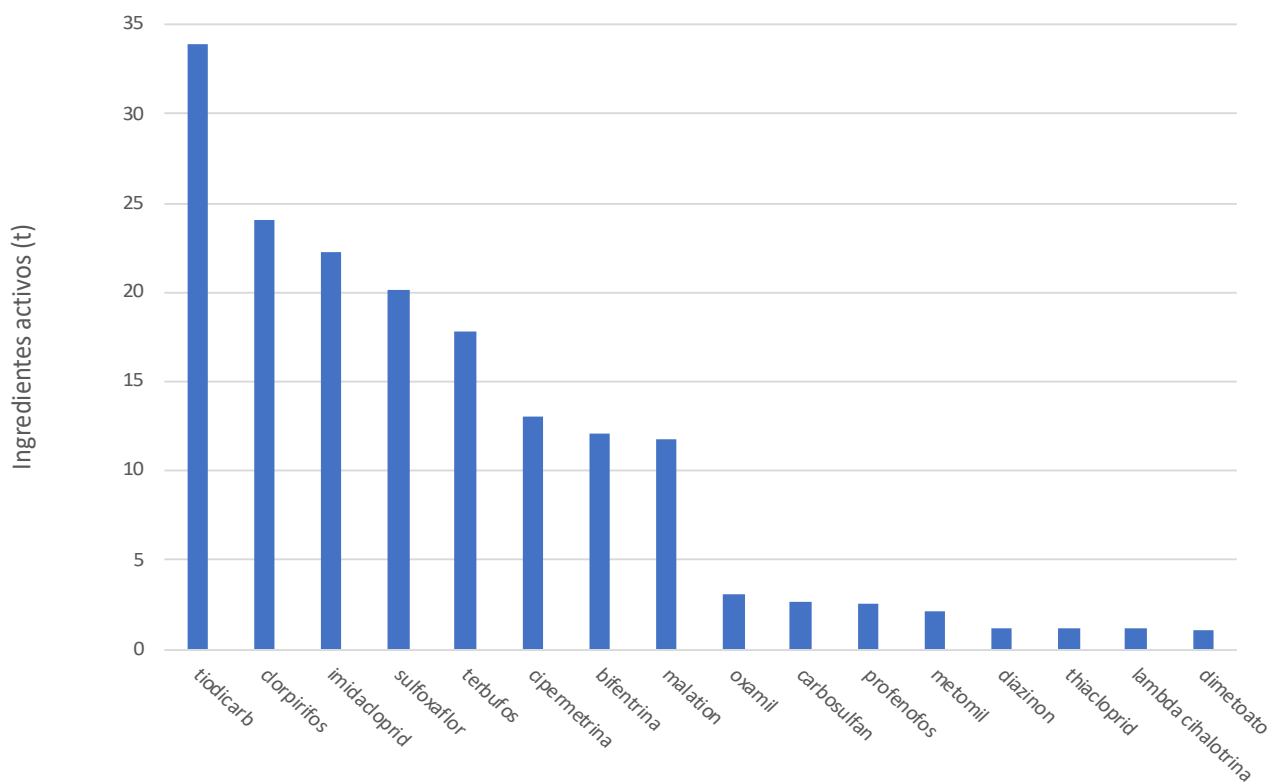


Figura 5 Lista de insecticidas por sustancia activa utilizadas en El Salvador por año en cantidades superiores a 1 tonelada por año (fuentes de los datos MAG, 2019).

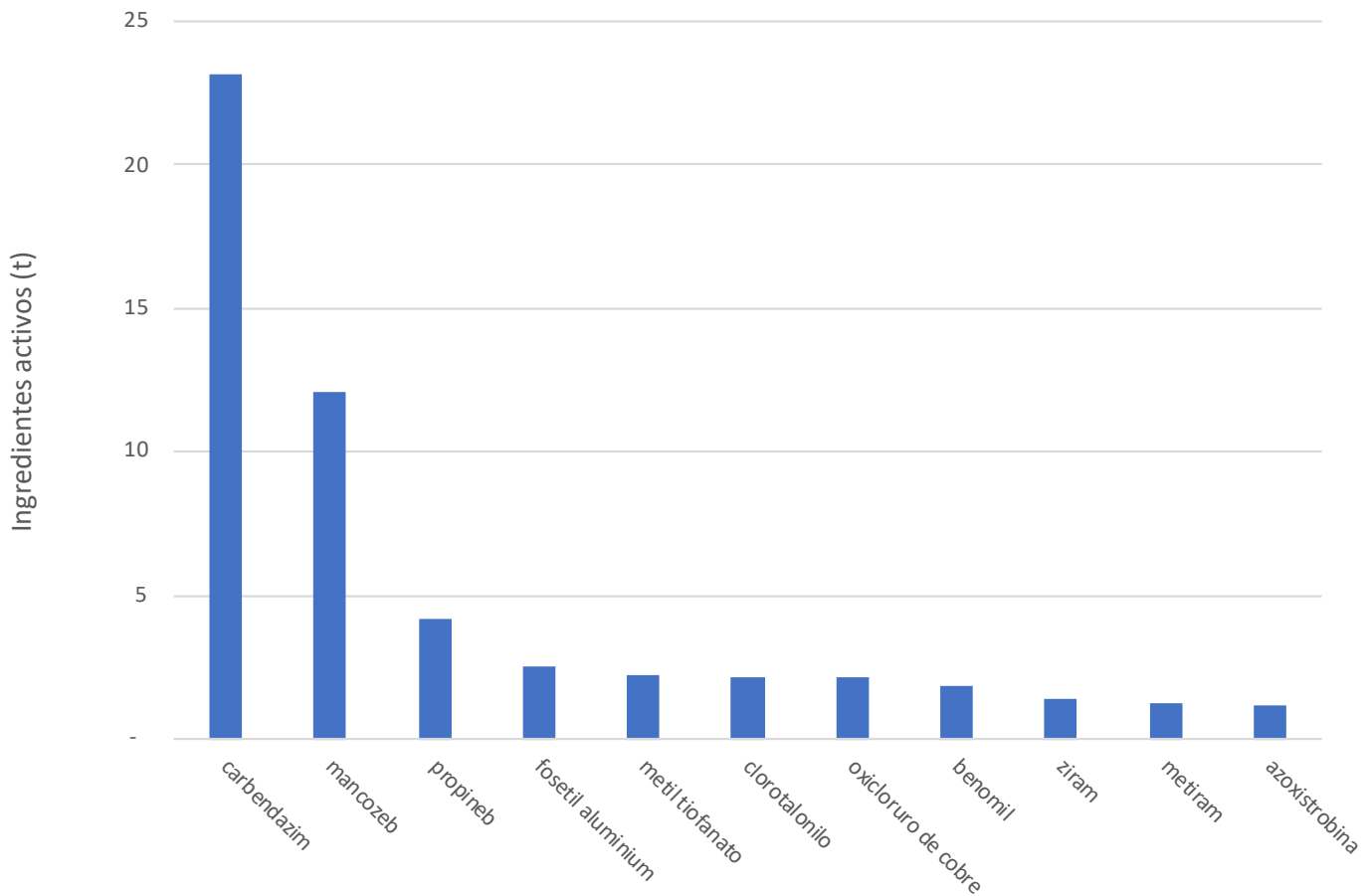


Figura 6 Lista de fungicidas por sustancia activa utilizadas en El Salvador por año en cantidades superiores a 1 tonelada por año (fuentes de los datos MAG, 2019)

Las sustancias activas con actividad herbicida utilizadas en cantidades superiores a una tonelada se muestran en la figura 4. Las tres sustancias activas más utilizadas son 2,4-D (308 toneladas, fenoxi), el glifosato (251 toneladas, aminofosfonico) y el paraquat (200 toneladas, bupiridilo). En el segundo grupo más grande, aparecen la atrazina (108 toneladas, triazinas), el diuron (70 toneladas, urea) y la ametrina (47 toneladas, triazina).

En cuanto a los insecticidas (figura 5), el insecticida más utilizado es el tiodicarb (carbamato) con un uso de 34 toneladas (según análisis de los datos MAG, 2019). Sigue el clorpirifos (24 toneladas, organofosforado), el imidacloprid (22 toneladas, neonicotinoides), el sulfoxaflor (20 toneladas, sulfoximina) y el terbufos (18 toneladas, organofosforado) (MAG, 2019b).

En lo que respecta a los fungicidas (figura 6), las sustancias activas más utilizadas en El Salvador son la carbendazima (23 toneladas, bencimidazol) y el mancozeb de la familia de los tiocarbamatos (12

toneladas).

Las siguientes cifras muestran el consumo total de herbicidas, insecticidas y fungicidas por tipo de cultivo (figura 8). Estas cifras son una estimación basada en el tipo de cultivo para el que está registrado un producto comercial, las concentraciones de ingredientes activos del producto y la superficie cultivada por tipo de cultivo, como se explicó en la metodología. Los tipos de cultivos considerados son el café, la caña de azúcar, las frutas (aguacate, cacao, cítricos, guineo, mango, plátano, sandía), los granos básicos (arroz, frijol, maíz, sorgo), las hortalizas (ayote, chile, guisquil, papa, pepino, repollo, tomate, zucchini) y otros (algodón, etc.).

La figura 8 muestra que el mayor consumo absoluto de herbicidas se dedica a la producción de granos básicos (60%), la caña de azúcar (29%) y el café (10%). El consumo total de ingredientes activos con actividad insecticida también se concentra principalmente en la producción de granos básicos (65%), seguido del café

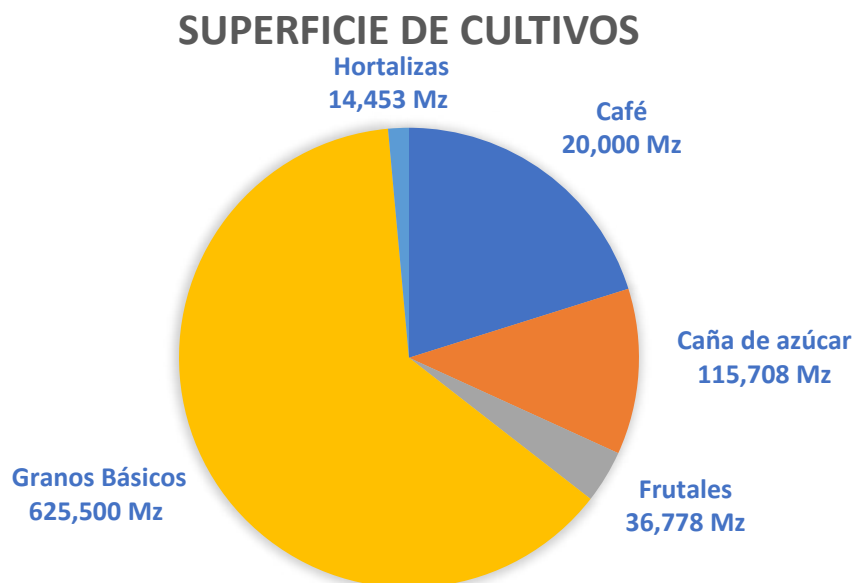


Figura 7 Superficie total cultivada en El Salvador (MAG, 2019)

(12%) y las frutas (11%) y finalmente la caña de azúcar (6%) y las hortalizas (6%). En cuanto a los fungicidas, el principal consumidor son los cultivos de café (55%), luego la producción de granos básicos (23%) y finalmente las frutas (13%) y la caña de azúcar (1%).

Es importante señalar que según el anuario estadístico del MAG 2018-2019, la producción de granos básicos corresponde al 62%, la de café al 20%, la de azúcar de caña al 12%, la de frutales al 4% y la de hortalizas al 1% del total del área cultivada en El Salvador (1,001,032 manzanas) (Figura 7).

Esto significa que, por unidad de superficie cultivada, los cultivos de caña de azúcar absorben unas 2,5 veces más herbicidas que los granos básicos. En cuanto a los insecticidas, las plantaciones de frutales absorben el 11% del total de los insecticidas, aunque sólo corresponden al 4% de la superficie cultivada. La gran mayoría de los fungicidas utilizados se aplican en los cultivos de café y una proporción muy pequeña se utiliza en los cañales. Esto se debe a que las plantaciones de café están situadas a gran altura y son más propensas a las infecciones fúngicas.

Dentro de un mismo grupo de uso, como los herbicidas,

algunas materias activas se utilizan más para ciertos tipos de cultivos que para otros. Los cultivos de granos básicos representan entre el 50% y el 72% del consumo de los 3 herbicidas más utilizados (2,4-D, glifosato y paraquat) (Figura 9). Los cultivos de caña de azúcar ocupan más 2,4-D y glifosato que el paraquat, que se utiliza más en los cultivos de granos básicos.

En cuanto a los insecticidas (Figura 10), el tiodicarb se utiliza casi exclusivamente en los cultivos de grano básico. El clorpirifos también se utiliza en la producción de grano básico (57%), seguido de hortalizas (18%), caña de azúcar (14%) y café (10%). El imidacloprid se utiliza principalmente para el grano básico (81%), seguido del azúcar de caña (12%) y el café (4%).

El consumo de los tres principales ingredientes activos con acción fungicida se encuentra principalmente en los cafetales, que representan el 51%-71% de sus usos (Figura 11). En el caso de la carbendazima, el uso se concentra en segundo lugar en el grano básico (15%) y frutales (11%). En cuanto al mancozeb, se utiliza en segundo lugar para los frutales (24%) y luego para las hortalizas (15%). El propineb se usa de forma secundaria en los cereales básicos como la carbendazima.

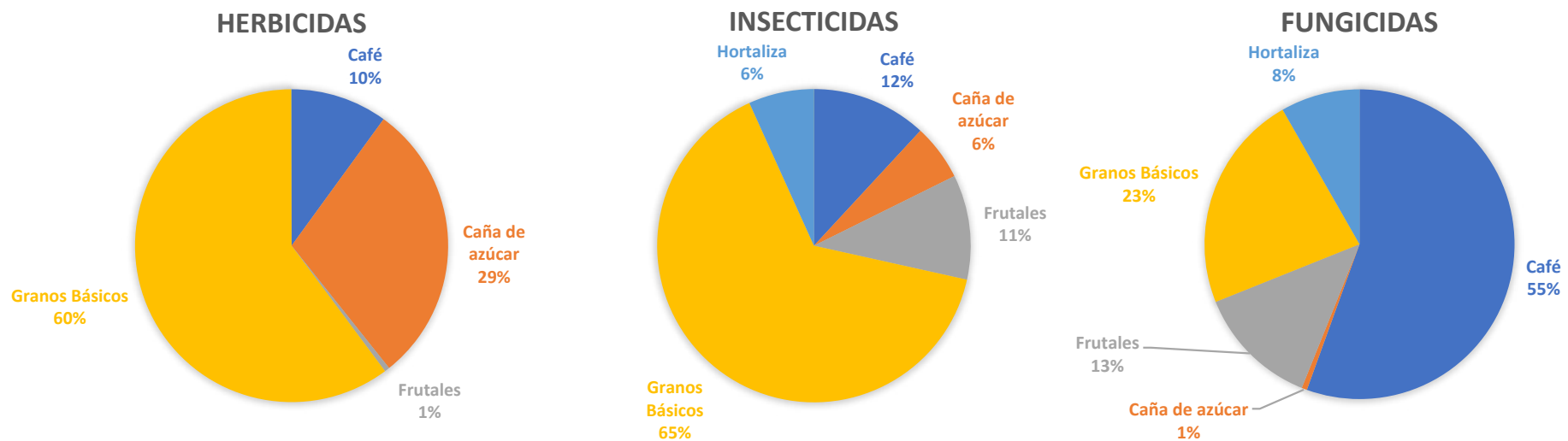


Figura 8 Consumo total de ingredientes activos de sustancias utilizadas como herbicidas, insecticidas y fungicidas según el tipo de cultivo.

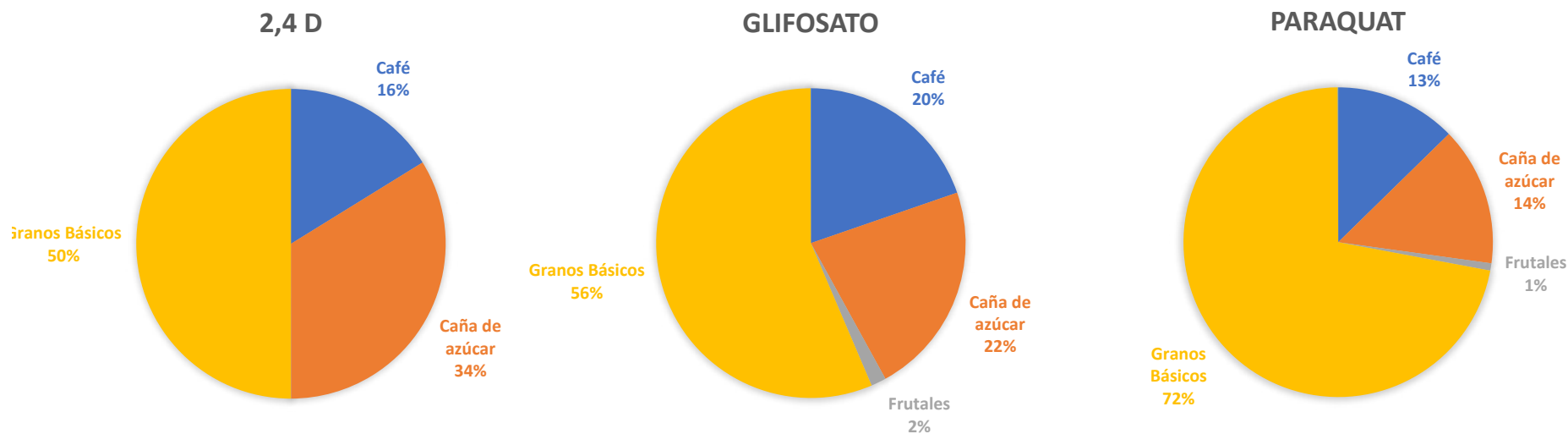


Figura 9 Consumo de los tres principales ingredientes activos utilizados como herbicidas.

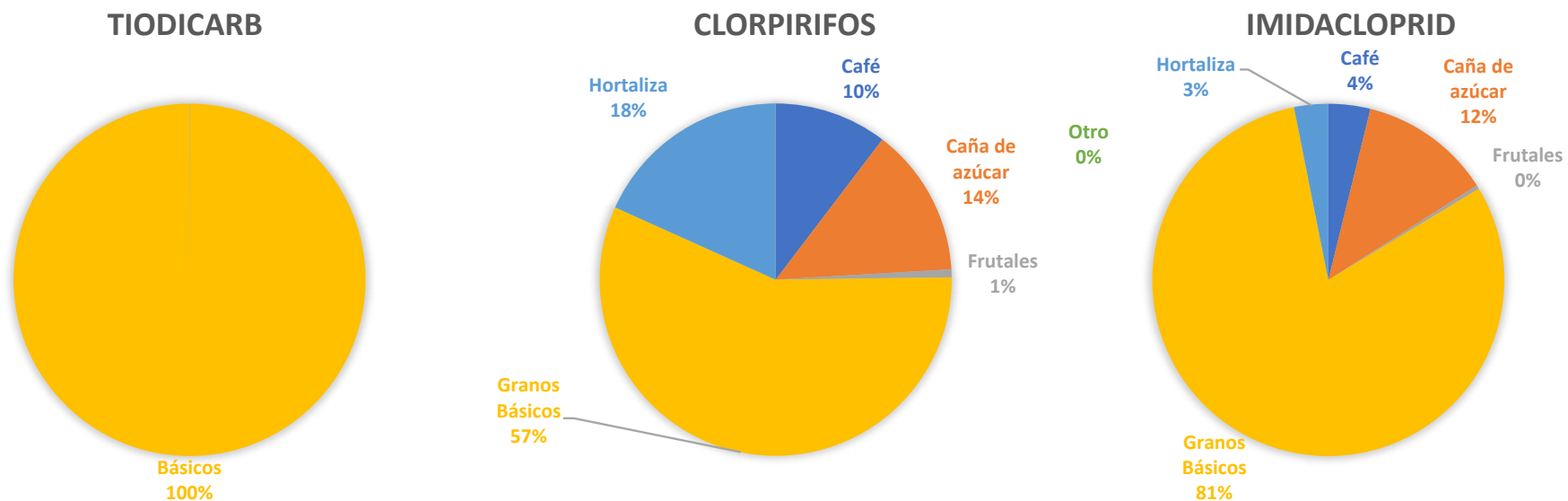


Figura 10 Consumo de los tres principales ingredientes activos utilizados como insecticidas.

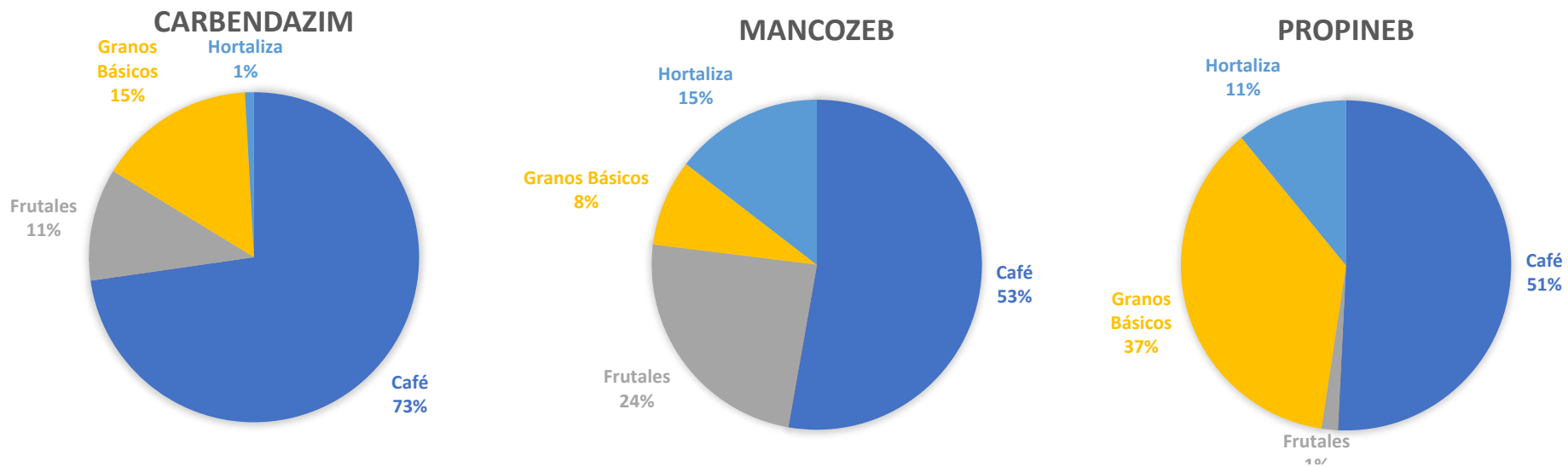


Figura 11 Consumo de los tres principales ingredientes activos utilizados como fungicidas.

2.3.3 Uso de agroquímicos durante el ciclo de producción de la caña de azúcar

El ciclo de producción de la caña de azúcar consta de diferentes etapas en las que se pueden utilizar productos químicos de origen sintético o natural en los cultivos. Los fertilizantes se aplican en los campos para enriquecer el suelo con elementos esenciales y así promover el crecimiento de los cultivos. Los plaguicidas pueden ser utilizados para varios propósitos, incluyendo el control del crecimiento de las hierbas en competencia con los cultivos, el control de ciertas plagas o como agente de maduración³.

La caña de azúcar es una planta herbácea semiperenne con un ciclo de cultivo de 5 a 7 años (Hughes et al., 2016; Moret, 2014). Los ciclos que comienzan con una plantación se denominan "vírgenes" y los siguientes 5 a 7 ciclos se denominan ciclos de "rebrote". El ciclo del cultivo y fenológico incluye varias etapas, incluyendo la preparación del suelo, la plantación de esquejes, el brote, el desarrollo de las raíces, la emergencia del tallo (ahijamiento), el crecimiento vegetativo, la maduración, la germinación y la cosecha. Los siguientes ciclos comienzan con el levantamiento del rebrote (Moret, 2014; NAD, 2019a).

La preparación del suelo implica varias etapas de arado destinadas a optimizar la relación aire-agua en el suelo, proporcionando buenas condiciones físicas para el anclaje radicular, la incorporación de estiércol, la destrucción de pastos no deseados y la promoción de la actividad de los microorganismos (NAD, 2019a).

El enriquecimiento del suelo en la producción a gran escala no se realiza generalmente mediante estiércol, sino mediante fertilizantes minerales (figura 12) como los fertilizantes nitrogenados (urea, nitratos de amonio o sulfatos de amonio), el fósforo (fosfato de amonio) y la adición de sales de potasio (KCl) (Hughes et al., 2016). Los suelos también pueden ser enriquecidos con algunos elementos esenciales como boro, cobre, hierro, manganeso, zinc y azufre (NAD, 2019b). Estos

elementos químicos en forma de sales se aplican en forma de sólido directamente en el suelo o en forma líquida después de su disolución en agua (Disagro, 2011). Según los métodos de cultivo, se realiza un primer tratamiento del suelo con fósforo y cal (CaO) 2 meses antes de la siembra de los esquejes (RITA, 2015).



Figura 12 Tipo de fertilizante que se encuentra alrededor de los campos de caña de azúcar (foto UNES©).

³ "Un compuesto orgánico que, aplicado en pequeñas cantidades, inhibe, fomenta o modifica de alguna forma, procesos fisiológicos de la planta (Arcila, 1990). En caña de azúcar, estos compuestos actúan como reguladores del crecimiento que favorecen la mayor concentración de sacarosa." (p. 154, Medardo & Molina, 2016).

En El Salvador, la siembra de caña de azúcar se lleva a cabo de noviembre a diciembre (HRW, 2004). Durante la siembra, las plantas de caña se empapan primero en una solución fungicida para protegerlas contra el Muermo rojo o también conocido por el nombre latino *Colletotrichum falcatum* (Hernandez 2015 citado en Hughes et al., 2016). Este hongo es muy común en este tipo de cultivo y se trata con un fungicida que contiene benomil o carbendazima como ingredientes activos (Hughes et al., 2016; Ospina, 2014). Durante la plantación, se añaden fertilizantes a los surcos (RITA, 2015). Después de la siembra, el campo se trata con herbicidas de pre-emergencia que previenen el crecimiento de malezas. Algunos productos comerciales de pre-emergencia utilizados para este tipo de cultivo en El Salvador contienen sustancias activas como el indaziflam e isoxaflutole que se aplican directamente al suelo con una duración de acción de hasta 120 días (Bayer CAC, 2019c).

Durante la fase de ahijamiento, la caña de azúcar es muy exigente en términos de fertilizantes y se puede hacer una nueva aplicación de fertilizantes 30 días y 60 días después de la germinación (RITA, 2015). Durante su período de crecimiento, se aplican diferentes tratamientos fitosanitarios para el control de diferentes plagas como la Mosca Pinta (*Aeneolamia postica*) o el gusano Barrenador (*Diatraea saccharalis*) (Hughes et al., 2016). Esta mosca es tratada con insecticidas que contienen, por ejemplo, tiametoxam o el neonicotinoide imidacloprid (Hughes et al., 2016). El gusano se trata con insecticidas como el triflumurón (Bayer CAC, 2019a), carbofuran y bifentrina (Hughes et al., 2016). La caña de azúcar puede estar sujeta a múltiples plagas de otros tipos (diferentes tipos de taladros, moscas blancas, termitas, cochinillas harinosas, saltamontes) y enfermedades (bacterianas, virales, micóticas) que pueden involucrar otros tipos de plaguicidas (NAD, 2019c; Werner, 2018).

A lo largo de la temporada de crecimiento, se practica el deshierbe constante con diferentes herbicidas utilizados individualmente o en combinación, tales como 2,4-D, atrazina, glufosinato de amonio, glifosato, paraquat y triazina (Bayer CAC, 2019b; Hughes et al., 2016).

De noviembre a abril se realiza la cosecha, también

llamada zafra (HRW, 2004). De 28 a 49 días antes de la cosecha, se aplican agentes de maduración para detener el crecimiento de la caña, marchitar las hojas y concentrar el azúcar (Hughes et al., 2016). Los productos generalmente aplicados por vía aérea son Roundup Weather-MAX® y Roundup PowerMAX II® con glifosato como principal sustancia activa (Oregon et al., 2017). Un día antes de la cosecha se queman los campos para eliminar el follaje de las plantas antes del corte (HRW, 2004). La técnica de cosecha sin quemar el campo se llama zafra verde y corresponde en 2011-2012 al 2,5% y en 2012-2013 al 7,2% de los cultivos de caña de azúcar del país (MAG, 2012, 2013; MARN, 2013c). La misma planta de caña de azúcar tiene una vida útil de 5 a 7 cosechas antes de ser renovada (Hughes et al., 2016).

En la tabla 5 se recopilan las sustancias utilizadas para la producción de caña de azúcar notificadas en diferentes estudios realizados en América Central, África y Australia (Armas et al. 2005; Davis et al., 2013; Donga et al. 2018, Lehtonen 2009; Mitchell et al. 2005; Ongley, 1997; Pankhurst, 2006) así como dos documentos de la FAO que incluyen el inventario de plaguicidas utilizados en los cultivos de azúcar (Ongley, 1997) y la relativa a la gestión de las malas hierbas utilizadas en los cultivos de azúcar (Labrada et al. 1996).

La lista de sustancias reportadas en la literatura ha sido actualizada a partir del registro de productos agrícolas y fertilizantes del 2019 obtenido en la dirección general de sanidad vegetal y animal. Las sustancias activas se muestran en la tabla 5 según el tipo de uso y por grupo químico.

En El Salvador, 59 sustancias activas están registradas para su uso en el cultivo de caña de azúcar. Estas 59 sustancias consisten principalmente en herbicidas (35) e insecticidas (17), algunos de los cuales tienen efectos nematicidas y acaricidas, y finalmente fungicidas (4) y rodenticidas (3). Sólo 3 herbicidas registrados son herbicidas de contacto, lo que significa que sólo dañan la parte de la planta tratada (Au, 2003). Este tipo de herbicida debe aplicarse en cantidades suficientes para cubrir todo el follaje de la maleza objetivo (M. Singh & Sharma, 2008, p. 16). En El Salvador se han registrado tres herbicidas de contacto, incluyendo paraquat que induce radicales libres en la planta tratada que

interfieren con la síntesis de lípidos. La mayoría de los herbicidas registrados son herbicidas selectivos o de translocación. Esto significa que estas moléculas entran a través del sistema radicular o que en el follaje de la maleza migra a otra parte de la planta para ejercer su efecto. Los herbicidas selectivos actúan interrumpiendo el funcionamiento celular de la planta, por ejemplo, inhibiendo la fotosíntesis (por ejemplo, diurón, atrazina), modificando las estructuras proteicas o desregulando la división celular, la síntesis de proteínas (por ejemplo, asulam) o la síntesis de lípidos (Au, 2003).

Los insecticidas utilizados para el tratamiento de la caña de azúcar forman parte de los principales grupos químicos de carbamatos, neonicotinoides, organofosfatos y piretroides. La acción en los seres humanos de la gran mayoría de estos compuestos, se dirige al sistema nervioso inhibiendo la enzima implicada en la transmisión sináptica (acetilcolinesterasa) o

desregulando los canales de sodio implicados en la transmisión eléctrica del sistema nervioso central y periférico. Estos inhibidores previenen la transmisión de los impulsos nerviosos, lo que conduce a la parálisis y la muerte. Algunos otros insecticidas utilizados inhiben la síntesis de quitina necesaria para la formación de exoesqueletos de insectos como las benzoilureas o interrumpen la muda de larvas de insectos como la tebufenozida.

En los fungicidas, encontramos las estrobilurinas, que son inhibidores de la respiración celular dirigidos a los citocromos mitocondriales. También encontramos que los inhibidores de esteroides son necesarios para la formación de membranas celulares como los triazoles y los inhibidores de división celular como el benzimidazol. Tres rodenticidas pueden ser aplicados en campos de caña de azúcar como el brodifacouma, coumatetralyl, flocoumafen. Todos son agentes anticoagulantes.

Tabla 5 Lista de sustancias activas incluidas en el registro nacional de productos sanitarios utilizados en la producción de azúcar de caña y su modo de acción.

Ingredientes activos	CAS	Grupo químico	Modo de acción	Referencia
Fungicidas				
Carbendazim	10605-21-7	Benzimidazol	Sistémico. Inhibición de la mitosis y división celular.	(K. Lewis et al., 2016)
Pyraclostrobin	175013-18-0	Estrobilurina	Sistémico. Inhibidor de la respiración.	(K. Lewis et al., 2016)
Azoxistrobina	131860-33-8	Estrobilurina	Sistémico. Inhibidor de la respiración.	(K. Lewis et al., 2016)
Ciproconazol	94361-06-5	Triazol	Sistémico. Un inhibidor de la biosíntesis del ergosterol.	(K. Lewis et al., 2016)
Herbicidas				
2,4-Dichlorophenoxyacetic acid	94-75-7	Fenoxi	Sistémico. Aumenta la biosíntesis y la producción de etileno causando una división celular incontrolada y dañando así el tejido vascular.	(EXTOXNET, 2019; K. Lewis et al., 2016)
Acetochlor	34256-82-1	Chloroacetamide	Sistémico. Inhibición de la división celular.	(K. Lewis et al., 2016; van Almsick, 2009)
Ametrina	834-12-8	Triazina	Sistémico. Inhibe la fotosíntesis (fotosistema II).	(K. Lewis et al., 2016)
Amicarbazone	129909-90-6	Triazolinona	Contacto. Inhibición de la fotosíntesis (fotosistema II).	(K. Lewis et al., 2016)
Asulam	3337-71-1	Carbamato	Sistémico. Causando clorosis lenta.	(K. Lewis et al., 2016)
Atrazina	1912-24-9	Triazina	Sistémico. Inhibe la fotosíntesis (fotosistema II).	(K. Lewis et al., 2016)
Bentazon	25057-89-0	Tiadiazina	Sistémico. Absorbido por las raíces y translocado. Daños oxidativos por falta de vitamina E, destrucción de la clorofila.	(K. Lewis et al., 2016)
Carfentrazone	128621-72-7	Triazolinona	Contacto. Interrupción de la membrana celular.	(K. Lewis et al., 2016)
Cletodim	99129-21-2	Oxima ciclohexandiona	Sistémico. Inhibe la síntesis de aminoácidos.	(K. Lewis et al., 2016)
Clomazone	81777-89-1	Isoxazolidinona	Sistémico. Inhibición de la síntesis de carotenoide.	(K. Lewis et al., 2016)
Diuron	330-5a4-1	Urea	Sistémico, absorbido por las raíces, actúa inhibiendo fuertemente la fotosíntesis.	(K. Lewis et al., 2016)
Ethoxysulfuron	126801-58-9	sulfonilurea	Sistémico. Inhibe la síntesis de aminoácidos.	(K. Lewis et al., 2016)
Fluazifop	69335-91-7	Propanoato arilico	Sistémico.	(K. Lewis et al., 2016)
Glifosato	1071-83-6	Fosfonoglicina	Sistémico. Inhibe la síntesis de aminoácidos.	(K. Lewis et al., 2016)
Glufosinate Ammonium	77182-82-2	Fosfonico	Contacto y parcialmente sistémico. Inhibición de la fotosíntesis y glutamina sintasa.	(K. Lewis et al., 2016)
Hexazinona	51235-04-2	Triazinona	Sistémico, no selectivo. Inhibe la fotosíntesis (fotosistema II).	(K. Lewis et al., 2016)
Imazapic	104098-48-8	Imidazolinona	Sistémico. Inhibe la síntesis de aminoácidos	(K. Lewis et al., 2016)
imazapir	81334-34-1	Imidazolinona	Sistémico. Inhibe la síntesis de aminoácidos	(K. Lewis et al., 2016)

Ingredientes activos	CAS	Grupo químico	Modo de acción	Referencia
Indaziflam	950782-86-2	Fluoroalquiltriazina	Sistémico, non selectivo. Inhibe la biosíntesis de la celulosa.	(K. Lewis et al., 2016)
Isoxaflutole	141112-29-0	Oxycetamide	Sistémico. Inhibe la síntesis de aminoácidos.	
MCPA				
(2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid)	94-74-6	Ácido ariloxi alcanoico	Sistémico. Interfiere con la síntesis de proteínas, la división celular y el crecimiento de la planta.	(K. Lewis et al., 2016)
Mesotrione	104206-82-8	Tricetona	Sistémico. Inhibe la síntesis de aminoácidos.	(K. Lewis et al., 2016)
Metribuzin	244-209-7	Triazinona	Sistémico. Inhibe la fotosíntesis (fotosistema II).	(K. Lewis et al., 2016)
Metsulfuron metil	74223-64-6	Sulfonilurea	Sistémico. Inhibe la síntesis de aminoácidos vegetales.	(K. Lewis et al., 2016)
Oxifluorfen	42874-03-3	Dimetileter	Sistémico. Selectivo con acción de contacto. Provocando un daño irreversible de la membrana celular.	(K. Lewis et al., 2016)
Paraquat	4685-14-7	Bipiridilio	Contacto. Amplio espectro, actividad no residual con contacto y cierta acción desecante. Inhibidor del Photosystem I.	(K. Lewis et al., 2016)
Pendimetalina	40487-42-1	Dinitroanilina	Sistémico.Selectivo, absorbido por las raíces y las hojas. Inhibición de mitosis y división celular. Inhibición del ensamblaje de los microtubulos.	(K. Lewis et al., 2016)
Picloram	1918-02-1	Piridina	Sistémico. Selectivo, sistémico, absorbido por las raíces y las hojas y translocado. Inhibición crecimiento vegetal.	(K. Lewis et al., 2016)
S-metolacoloro	87392-12-9	Cloroacetanilida	Sistémico. Inhibición de la división celular	(K. Lewis et al., 2016)
Terbutrina	886-50-0	Triazina	Sistémico. Inhibe la fotosíntesis (fotosistema II).	(K. Lewis et al., 2016)
Topramezone	210631-68-8	Benzoylpyrazole	Sistémico. Daños oxidativos por falta de vitamina E, destrucción de la clorofila.	(K. Lewis et al., 2016)
Trifloxisulfuron	145099-21-4	Sulfonilurea	Sistémico. Inhibe la síntesis de aminoácidos vegetales.	(K. Lewis et al., 2016)
Insecticidas				
Acefato	30560-19-1	Organofosfato	Sistémico con contacto y acción estomacal. Inhibidor de la acetilcolinesterasa (AChE).	(K. Lewis et al., 2016)
Bifenthrine	82657-04-3	Piretroide	Contacto. Impide el cierre de sodio canales activados por voltaje en las membranas axonales.	(K. Lewis et al., 2016)
Carbofurano	1563-66-2	Carbamato	Sistémico con contacto y acción estomacal. Inhibidor de la acetilcolinesterasa (AChE).	(K. Lewis et al., 2016)
Carbosulfan	55285-14-8	Carbamato	Sistémico con contacto y acción estomacal. Inhibidor de la acetilcolinesterasa (AChE).	(K. Lewis et al., 2016)

Ingredientes activos	CAS	Grupo químico	Modo de acción	Referencia
Chlorantraniliprole	500008-45-7	Diamida antranilica	Exhibe actividad larvicida como tóxico ingerido por vía oral al apuntar y alterar el equilibrio de Ca ²⁺ ; provoca una alteración de la regulación, parálisis y, en última instancia, la muerte	(K. Lewis et al., 2016)
Fipronil	120068-37-3	fenil pirazol	Amplio espectro con contacto y acción estomacal. Antagonista del canal de cloruro GABA.	(K. Lewis et al., 2016)
Cipermetrina	52315-07-8	Piretroide	Contacto. Impide el cierre de sodio canales activados por voltaje en las membranas axonales.	(K. Lewis et al., 2016)
Clorpirifós	2921-88-2	Organofosfato	Sistémico con contacto y acción estomacal. Inhibidor de la acetilcolinesterasa (AChE).	(K. Lewis et al., 2016)
Imidacloprid	138261-41-3, 105827-78-9	Neonicotinoid	Sistémico con contacto y acción estomacal. Agonista del receptor de acetilcolina (nAChR).	(K. Lewis et al., 2016)
Lambda cihalotrina	68085-85-8	Piretroide	Contacto. Impide el cierre de sodio canales activados por voltaje en las membranas axonales.	(K. Lewis et al., 2016)
Novaluron	116714-46-6	Benzoylurea	Inhibidor de la síntesis de quitina, regulador del crecimiento de insectos.	(K. Lewis et al., 2016)
Tebufenozide	112410-23-8	Hidrazina	Acelera la muda de las larvas de lepidópteros dejan de alimentarse a las pocas horas de la exposición y luego pasan por una muda letal.	(K. Lewis et al., 2016)
Terbufós	13071-79-9	Organofosfato	Sistémico con contacto y acción estomacal. Inhibidor de la acetilcolinesterasa (AChE). Insecticida y nematicida.	(K. Lewis et al., 2016)
Thiametoxan	153719-23-4	Neonicotinoid	Sistémico con contacto y acción estomacal. Agonista del receptor de acetilcolina (nAChR).	(K. Lewis et al., 2016)
Tiociclam-h-oxalato	31895-22-4	Tritiano	Selectivo, bloquea la acetilcolina nicotínica en el sistema nervioso central.	(K. Lewis et al., 2016)
Triflumuron	64628-44-0	Benzoylurea	Inhibidor de la síntesis de quitina, regulador del crecimiento de insectos.	(K. Lewis et al., 2016)
Rodenticidas				
Brodifacouma	56073-10-0	Coumarina	Inhibe la enzima vitamina K epoxi reductasa. Es un anticoagulante.	(K. Lewis et al., 2016)
Coumatetralyl	5836-29-3	Coumarina	Inhibe la enzima vitamina K epoxi reductasa. Es un anticoagulante.	(J. Routt Reigart et al., 2013)
Flocoumafen	90035-08-8	Coumarina	Inhibe la enzima vitamina K epoxi reductasa. Es un anticoagulante.	(K. Lewis et al., 2016)

En los siguientes gráficos se resumen las cantidades de los principales herbicidas e insecticidas aplicados en los cañales en 2019. Según los cálculos realizados por zonas, los herbicidas que se aplican en la mayoría de los cañales son el diuron (69.3 toneladas), el 2,4-D (68.5 toneladas) y el glifosato (50.8 toneladas) (figura 13).

Los insecticidas que se aplican principalmente en los cañales son clorpirifos (3.3 toneladas), imidacloprid (2.7 toneladas) y terbufos (1.9 toneladas) (Figura 14). En cuanto a los fungicidas, estos son el triadimenol (340 kg) y la piraclostrobina (12 kg).

2.4 Conclusión

El valor de las importaciones anuales de agroquímicos en El Salvador equivale a 55 millones de dólares en

plaguicidas y fertilizantes. Los plaguicidas más utilizados son el 2,4-D, el glifosato y el paraquat para los herbicidas y el tiodicarb, el clorpirifos y el imidacloprid para los insecticidas. En América Central, El Salvador (1,515 toneladas) es un modesto consumidor de plaguicidas en comparación con Costa Rica (10,547 toneladas) y Guatemala (10,547 toneladas) (Bravo et al., 2011). Sin embargo, estas cifras dependen de la superficie cultivada, del tipo de cultivo y de la forma en que se cultiva. Por ejemplo, en 2004, El Salvador consumió un 70% más de plaguicida por hectárea cultivada que Nicaragua, pero 12 veces menos plaguicida por hectárea cultivada que su homólogo de Costa Rica (Bravo et al., 2011). El uso de agroquímicos en El Salvador se ve interrumpido por ciclos de cultivo que incluyen el uso masivo de fertilizantes en julio y de plaguicidas entre abril y agosto.

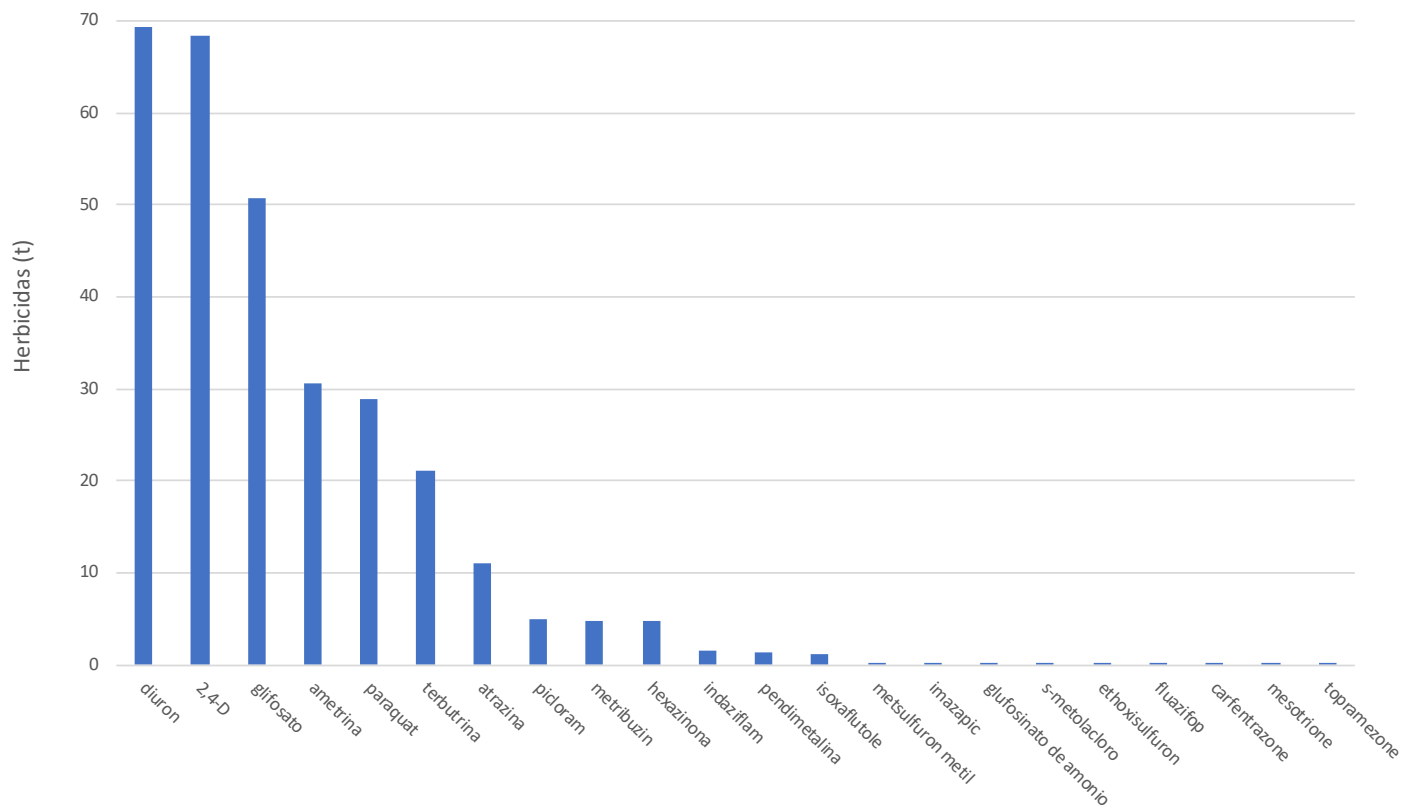


Figura 13 Cantidades de herbicidas aplicados en los cañales anualmente.

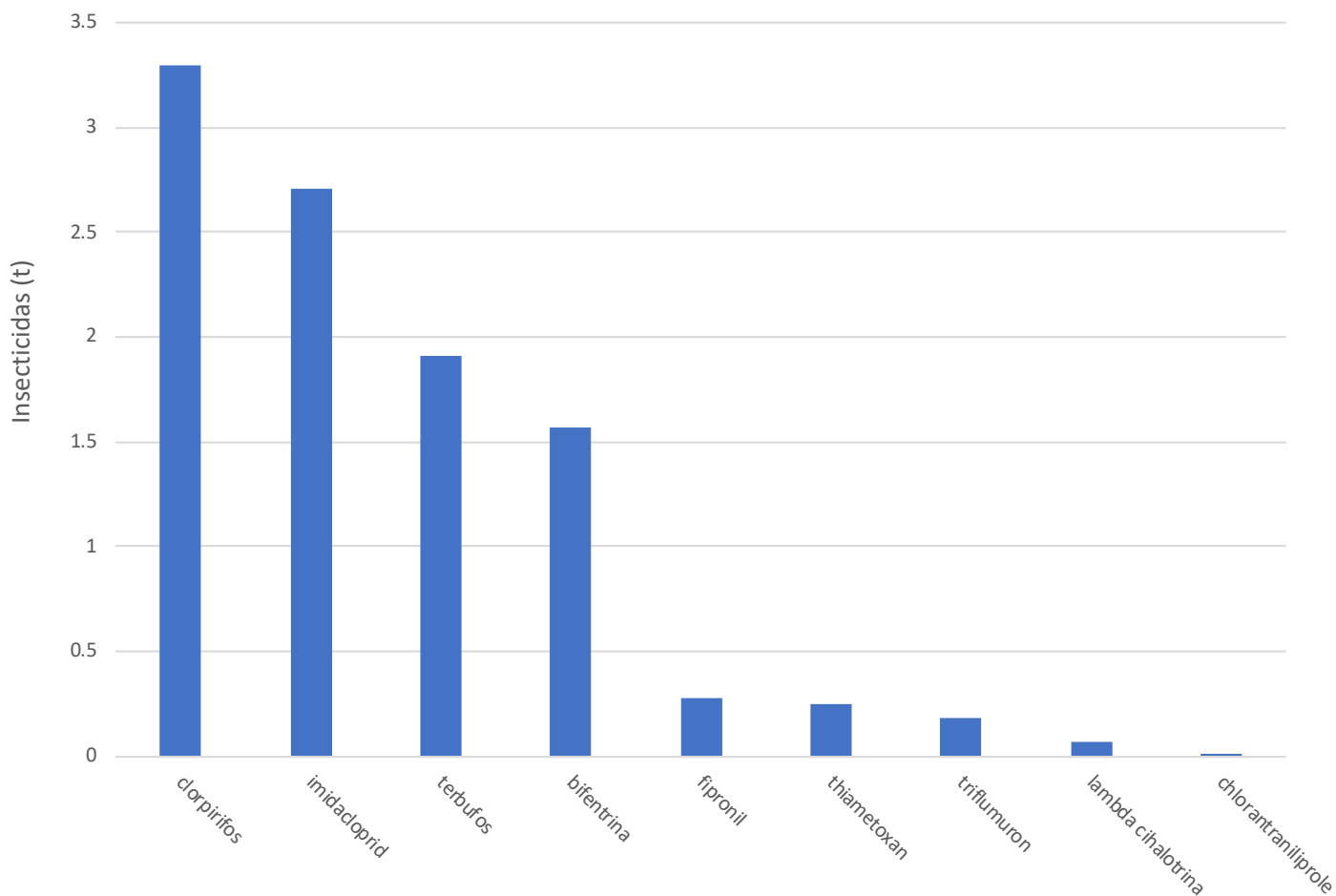


Figura 14 Cantidades de insecticidas aplicados en los cañales anualmente.

En consumo absoluto, la producción de granos básicos es el primer consumidor de herbicidas e insecticidas en el país y esto se explica por el hecho de que estos cultivos corresponden al 65% de las áreas cultivadas. Sin embargo, el consumo de herbicidas por unidad de superficie es aproximadamente 2,5 veces mayor en los cañales que en los cultivos de granos básicos. Los cultivos de café son los mayores consumidores de fungicida. Esta disparidad en el uso de herbicidas en la caña de azúcar comparada con los granos básicos en El Salvador, es importante de notar porque implica que el trabajador de la caña de azúcar está mucho más expuesto a los efectos de estos químicos que el trabajador del cultivo de granos básicos, aunque ambos pueden sufrir sus efectos.

Los cultivos convencionales de caña de azúcar utilizan plaguicidas sintéticos y fertilizantes minerales durante la preparación de la tierra, durante el crecimiento de las plantas y a menudo antes de la cosecha para aumentar el rendimiento del azúcar. De las 287 formulaciones de plaguicidas registradas para los cultivos de caña de azúcar en el MAG, 134 se importaron y utilizaron realmente entre agosto de 2018 y septiembre de 2019. La gran mayoría de los ingredientes activos utilizados son herbicidas (diuron, 2,4-D, paraquat) seguidos de insecticidas (chlorpyrifos, imidaclopride et terbufos).

3

Identificación de los peligros de las sustancias activas utilizadas en los cañales



3.1 Introducción

La identificación de los peligros de las sustancias activas es el primer paso en la evaluación de los riesgos de las sustancias químicas. Implica la identificación de los peligros inherentes de cada sustancia para la salud humana y el medio ambiente. El siguiente paso después de la identificación del peligro es la caracterización de la exposición humana y ambiental a estas sustancias. La identificación del peligro seguida de la caracterización de la exposición define el riesgo asociado con el uso de plaguicidas u otros productos químicos.

El primer paso de este capítulo fue definir los diferentes indicadores de peligro para la salud humana y el medio acuático, incluidas las aguas superficiales y los acuíferos, y a fin de obtener una visión general de las sustancias más preocupantes, se elaboró un sistema de puntuación para poner de relieve las sustancias más preocupantes. Es importante notar que no se ha considerado en este estudio la exposición en otras fases ambientales como son los suelos, el aire y los alimentos.

3.2 Metodología

3.2.1 Identificación de los peligros para la salud humana

Se consideraron diferentes parámetros para los efectos tóxicos agudos y crónicos a fin de identificar los peligros de cada sustancia activa. Los parámetros generales seleccionados se basan en los criterios que deben facilitarse para la evaluación del riesgo para la salud humana al registrar los plaguicidas en los Estados Unidos (Damalas & Eleftherohorinos, 2011) y en Europa (ECHA, 2019). La identificación del peligro es la evaluación de la capacidad inherente de una sustancia para causar efectos nocivos para la salud humana (ECHA, 2019). Muchos de los efectos tóxicos potenciales probados en la Unión Europea y los Estados Unidos son los mismos, aunque las pruebas de laboratorio estandarizadas legalmente reconocidas pueden diferir. Como parte de este trabajo, no se llevó a cabo ninguna evaluación de la fiabilidad y pertinencia de los resultados del estudio toxicológico porque

los resultados incluidos en este trabajo proceden de informes de organismos oficiales o de informes científicos a organismos como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), la Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos (ECHA), la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (US-EPA), en los que ya se ha llevado a cabo la evaluación de la calidad de los datos toxicológicos. Se hizo una excepción para las variables de evaluación que no se encontraban en los informes oficiales y que parecían importantes en el contexto salvadoreño, como la nefrotoxicidad o los efectos deletéreos en los riñones. Las razones para esto se basan en la gran incidencia creciente de enfermedad renal crónica en El Salvador, especialmente la conocida como CINAC (Chronic interstitial nephritis in agricultural communities), que se encuentra muy diseminada en las comunidades asociadas al cultivo de la caña de azúcar (Vandervort et al., 2014), y otras comunidades agrícolas en El Salvador (e.g.Orantes et al., 2017). Desafortunadamente, no ha sido posible recopilar posiciones oficiales como la de la inmunotoxicidad de las sustancias, porque esta información no está disponible o lo está muy poco y no se ha encontrado ninguna base de datos que sistematice dicha información. Según ECHA (2013), los indicadores del efecto de las sustancias sobre el sistema inmunitario se están debatiendo actualmente en diferentes grupos científicos (ECETOC, IPS, etc.).

Los únicos efectos integrados que están parcialmente relacionados con la inmunotoxicidad son los casos de sensibilización de la piel y los órganos respiratorios notificados en la base de datos de la ECHA. Además de los criterios de evaluación comúnmente considerados, la evaluación de los efectos sobre el hígado y el sistema biliar se llevó a cabo al evaluar los efectos acumulativos de determinados grupos de plaguicidas, incluidos los efectos neurotóxicos y los efectos sobre la reproducción y el desarrollo (EFSA, 2013).

Los criterios para identificar los peligros para la salud humana incluyen los efectos agudos, subcrónicos y crónicos. Algunos de estos efectos pueden considerarse puramente agudos (por ejemplo, dosis letales) o crónicos (por ejemplo, carcinogenicidad), mientras que otros pueden tener efectos a corto y largo plazo (por ejemplo, neurotoxicidad).

Toxicidad aguda:

La toxicidad aguda se juzga por la dosis letal al 50% de la población (LD50) de ratas (piel y oral) en pruebas de laboratorio. El umbral de toxicidad se ha establecido de acuerdo con la categoría del Sistema Mundialmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA). La categoría 3 corresponde a una descripción "tóxico por ingestión" y "tóxico en contacto



con la piel” correspondiente a un LD50 (oral) 50-300 mg/kg pc (peso corporal) y un LD50 (dérmico) 200-1000 mg/kg pc. Estos umbrales se han seleccionado porque son el umbral de “peligro” en el sistema del SGA. Los datos de LD50 se obtuvieron del documento de la Organización Mundial de la Salud (OMS) sobre la clasificación de los plaguicidas peligrosos (WHO, 2010b). Las sustancias que faltan han completado con los expedientes de revisión del registro de plaguicidas de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos. (US-EPA, 2019) y la base de datos de propiedades de los plaguicidas (K. Lewis et al., 2016).

Irritación y corrosividad:

El potencial irritante o corrosivo de una sustancia se evalúa según la clasificación SGA de la base de datos de la ECHA (ECHA, 2019). La irritación se evalúa en función de la capacidad de una sustancia para causar inflamación local después de una sola exposición. La corrosividad de una sustancia se evalúa en función de su capacidad para destruir tejidos (ECHA, 2013).

Sensibilización de la piel y del sistema respiratorio:

La sensibilización de la piel causada por una sustancia determina su capacidad para causar reacciones alérgicas (ECHA, 2013). La hipersensibilización del sistema respiratorio no se refiere a un mecanismo específico de toxicidad sino a síntomas como el asma (ECHA, 2013). La corrosividad de una sustancia se evalúa en función de su capacidad para destruir tejidos (ECHA, 2013).

Alteradores endocrinos:

Para este criterio de evaluación de la peligrosidad se ha utilizado la definición de la Comisión Europea (CE). Según Okkerman & van der Putte (2002): «*Un disruptor endocrino es una sustancia o mezcla exógena que altera la(s) función(es) del sistema endocrino y, por lo tanto, causa efectos adversos para la salud en un organismo intacto, o en sus descendientes o (sub)poblaciones*». Las 435 sustancias evaluadas en esa investigación para la Comisión Europea fueron comparadas e incluidas en la base de datos. Se han notificado como disruptores

endocrinos los plaguicidas que reúnen las características de la categoría 1 (al menos un estudio demuestra que es un disruptor endocrino en un organismo intacto) o 2 (disruptor endocrino potencial según pruebas de análisis in vitro, in vivo o estructurales). Las sustancias de las categorías 3a (sin base científica para incluir un alterador endocrino) y 3b (sin datos) no se han marcado para esta característica de peligro.

Carcinogenicidad:

La carcinogenicidad de las sustancias es un parámetro para juzgar si una sustancia o mezcla de sustancias induce o aumenta la incidencia de cáncer. El cáncer se caracteriza por un “*crecimiento incontrolado de células alteradas con la capacidad de migrar de su sitio original a otro lugar del cuerpo*” (Stepa et al., 2019). Las 34 sustancias se buscaron en la base de datos de la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, 2019), de la Agencia Europea de Química (ECHA, 2019), base de datos de propiedades de los plaguicidas (K. Lewis et al., 2016) y los archivos específicos de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos. Los plaguicidas seleccionados son sustancias clasificadas como cancerígenas (IARC Clase 1. o US-EPA Clase A.), probablemente cancerígenas (IARC Clase 2A o B. US-EPA) y posiblemente cancerígenas (IARC Clase 2B o C. US-EPA). Las sustancias en categorías que no son clasificables como carcinógenas (IARC o D US EPA clase 3) y probablemente no carcinógenas (IARC o E US EPA clase 4) no han sido marcadas para esta característica de peligro.

Mutagenicidad:

La mutagenicidad de una sustancia es su capacidad de inducir modificaciones genéticas en el organismo expuesto. Algunas de estas mutaciones no tienen efecto, mientras que otras pueden afectar negativamente a la célula diana o célula blanco. Si la célula afectada es una célula germinal, puede afectar a varias generaciones causando problemas de fertilidad, malformaciones, enfermedades genéticas, etc. También puede conducir a cánceres (Stepa et al., 2019). Se realizaron búsquedas en las 34 sustancias en el Chemical Carcinogenesis Research Information System (CCRIS, 2019) para

verificar si hay resultados positivos de las pruebas de mutagenicidad estandarizadas. Si es así, se llevaron a cabo investigaciones adicionales en un archivo oficial de registro de órganos para consultar la interpretación hecha por un especialista sobre esta característica (US-EPA y Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority) (APVMA, 2019).

Reprotoxicidad:

La reprotoxicidad se define como *“todos los efectos nocivos que una sustancia puede tener sobre el ciclo reproductivo, las funciones reproductivas de hombres y mujeres y sobre el feto”* (Nikolaidis, 2017). Los datos de reprotoxicidad se importaron directamente del informe científico externo publicado en 2013 a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA, 2013). Los criterios de evaluación de este informe se basan en los efectos sobre el desarrollo embrionario/fetal hasta la maduración sexual y los efectos sobre la función sexual y la fertilidad (EFSA, 2013). Las sustancias faltantes se buscaron en los archivos de sustancias específicas de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, el informe de la Organización Mundial de la Salud y los informes de la Oficina de Evaluación de Riesgos para la Salud Ambiental de la Agencia de Protección Ambiental de California (OEHHA, 2019) y base de datos de propiedades de los plaguicidas (K. Lewis et al., 2016).

Neurotoxicidad:

La neurotoxicidad se define como (Nielson et al., 2012) *“cualquier efecto adverso en la estructura o función del sistema nervioso relacionado con la exposición a una sustancia química”*. La neurotoxicidad puede estar indicada por cambios morfológicos (estructurales) en el sistema nervioso central o periférico o en órganos sensoriales específicos, cambios neurofisiológicos (por ejemplo, cambios electroencefalográficos), de comportamiento (funcionales) y/o neuroquímicos (por ejemplo, niveles de neurotransmisores). Los síntomas de neurotoxicidad pueden aparecer inmediatamente después de la exposición o más tarde. La lista de 34 sustancias activas se ha actualizado en cuanto a sus efectos neurotóxicos según el informe científico presentado a la Autoridad Europea de Seguridad

Alimentaria (EFSA, 2013). Las sustancias que faltan se han completado de acuerdo con los archivos de aprobación de la EPA de los Estados Unidos.

Efectos sobre el hígado:

incluyendo el sistema biliar: Las sustancias con un efecto nocivo sobre el hígado y el sistema biliar fueron compiladas en base a la evaluación del informe científico (EFSA, 2013). Los estudios considerados en este trabajo son sustancias dirigidas al hígado y la bilis con efectos reportados como degeneración y muerte celular, hipertrofia, colestasis, entre otros (EFSA, 2013). Sólo se seleccionaron las sustancias con pruebas de efectos adversos sobre el hígado y el sistema biliar.

Nefrotoxicidad y efectos en los riñones:

Este indicador se basa en investigaciones realizadas en la base de datos TOXNET (Toxicological Data Network) de la Biblioteca Nacional de los Estados Unidos (TOXNET, 2019). Las sustancias retenidas con un efecto potencialmente tóxico en los riñones son sustancias que dañan directamente este órgano a través de la atrofia, necrosis, deterioro. También se incluyeron los estudios toxicológicos que informaron la pérdida de la función renal y un aumento en la incidencia y gravedad de la enfermedad renal.

3.2.2 Sistema de puntuación para salud humana

Los 12 criterios de efectos tóxicos sobre la salud humana detallados en el capítulo anterior, incluyendo carcinogenicidad, mutagenicidad, reprotoxicidad, alterador endocrino, riñón, hígado, neurotoxicidad, toxicidad aguda, irritación/corrosión cutánea, irritación/corrosión ocular, sensibilización de la piel, hipersensibilidad respiratoria, fueron integrados en un sistema de puntuación. En general, para cada uno de los criterios, se daba una puntuación de 1 punto si la sustancia cumplía el umbral establecido en el capítulo anterior. Se hicieron dos excepciones. En primer lugar, para los criterios *“Irritación/corrosión ocular”* e *“Irritación/corrosión cutánea”*, se dio una puntuación de 0,5 a las sustancias irritantes y una puntuación

de 1 a las sustancias corrosivas, es decir, un mayor grado de peligro. En segundo lugar, para integrar la proporcionalidad en términos de potencial tóxico, las sustancias de las clases de toxicidad del SGA 1 (mortal), 2 (mortal) y 3 (tóxica) se puntuaron con 3 puntos, 2 puntos y 1 punto. Los resultados de cada sustancia activa se han calculado por clase de uso y se ha determinado la puntuación final (Tabla 6).

3.2.3 Identificación de los peligros para el sistema acuático

La identificación del peligro se basa principalmente en los indicadores de persistencia, bioacumulación y toxicidad (PBT) utilizados por la Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA, 2017b) y la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU (US EPA, 2008). El uso de sustancias PBT o las denominadas sustancias muy persistentes y muy bioacumulativas (mPmB) es muy preocupante porque pueden persistir en el medio ambiente durante largos períodos de tiempo, acumularse en los organismos vivos y afectar el buen funcionamiento del ecosistema (EMA, 2014). Además de estos parámetros básicos, se incluyó también la capacidad de movilidad de cada sustancia desde el suelo hasta el acuífero. Este parámetro se añadió de acuerdo con la metodología para priorizar las sustancias emergentes de la red NORMAN (Network of reference laboratories and related organisations for monitoring and bio-monitoring of emerging environmental substances).

A continuación, se indican la definición y los umbrales utilizados para distinguir una sustancia tóxica, persistente, muy persistente, bioacumulativa o muy bioacumulativa:

Persistencia:

la vida útil de una sustancia química en diferentes compartimentos ambientales como el marino y el de agua dulce, el sedimento y el suelo. La persistencia de una sustancia también caracteriza el tipo de degradación que sufre (hidrólisis, fotólisis, biodegradación, etc.). Los umbrales utilizados son los que se emplean para el registro de plaguicidas en la Unión Europea (ECHA,

2017b) complementado por los de la red NORMAN. Las sustancias se evalúan según su vida media en estos compartimentos, lo que significa el tiempo necesario para degradar el 50% de la sustancia. Una sustancia se considera persistente si su vida media es superior a uno de estos umbrales, es decir, >60 días en aguas marinas; >40 días en aguas dulces y estuarios; >180 días en sedimentos marinos; >120 días en sedimentos de agua dulce o estuarino o >120 días en el suelo. Se considera que una sustancia es muy persistente si su vida media es: > 60 días en aguas marinas, dulces o estuarinas; > 180 días en sedimentos de agua dulce, salada o estuarina; > 180 días en el suelo (ECHA, 2017b), o sea >60 días en todos los ambientes acuáticos, y >180 días en todos los ambientes sólidos. A estos umbrales se añadió el umbral de potencialmente persistente según el umbral de la red NORMAN con una vida media en el agua (dulce, marina, estuario) de más de 20 días o más de 60 días en el sedimento (fresco, marino, estuario) (NORMAN, 2013).

Bioacumulación:

Según la ECHA (ECHA, 2017a,p.10): "La acumulación es un término general para el resultado neto de la absorción (captación), la distribución, el metabolismo y la excreción (ADME) de una sustancia en un organismo". La bioacumulación de los organismos acuáticos se estima sobre la base del factor de bioconcentración (FBC), que es la relación entre la concentración de la sustancia en el organismo acuático y la concentración de la sustancia en el agua. Se observa que la bioacumulación tiene en cuenta todas las vías de exposición (por ejemplo, la alimentaria) y que el FBC sólo tiene en cuenta la de la fase acuosa (ECETOC, 1995). Los umbrales de la ECHA se caracterizan por un FBC > 2000 para las sustancias bioacumulativas y un FBC > 5000 para las sustancias consideradas muy bioacumulativas. A estos criterios de bioacumulación se han añadido los de la red NORMAN (NORMAN, 2013). Según la red normanda, una sustancia es potencialmente bioacumulativa si el FBC > 500 (NORMAN, 2013).

Toxicidad:

Según la ECHA (ECHA, 2017b), una sustancia se considera

tóxica si cumple uno de los siguientes criterios: NOEC (Concentración de Efectos No Observados) o EC10 (concentración de efectos adversos para el 10% de los organismos) para organismos marinos y acuáticos de agua dulce <0,01 mg/L; sustancias que son carcinógenas (categoría 1A, 1B), mutagénicas para las células germinales (categoría 1A, 1B) o tóxicas para la reproducción (categoría 1A, 1B o 2); sustancias identificadas de acuerdo con los reglamentos europeos como de toxicidad específica en un órgano objetivo. A estos criterios de toxicidad se han añadido los de la red NORMAN (NORMAN, 2013) por toxicidad para los organismos acuáticos. Según la red NORMAN, una sustancia es muy tóxica si la PNEC < 0,01 µg/L (Predicción de concentración sin efecto), tóxica si la PNEC < 0,1 µg/L y potencialmente tóxica si la PNEC < 1 µg/L (NORMAN, 2013).

Movilidad:

Las sustancias que pueden infiltrarse potencialmente en el acuífero se identifican en función de su persistencia (DT50 suelo o agua) y de su potencial para no adsorberse en el carbono orgánico y las arcillas presentes en el suelo (movilidad). La movilidad se estima según el coeficiente de absorción de la sustancia con carbono orgánico (Koc) o el coeficiente octanol-agua (Kow) (Kozel & Wolter, 2018).

Esta información se ha reunido para cada una de las 39 sustancias activas en el siguiente orden de fuentes:

1. Base de datos de inventario de C&L - ECHA, Agencia Europea de Sustancias y Mezclas Químicas (ECHA, 2020).
2. Base de datos sobre plaguicidas de la Comisión Europea (EC, 2019a).
3. Base de datos NORMAN (Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances) (NORMAN, 2020).
4. Por último, a fin de completar la información que faltaba, principalmente los datos sobre

la persistencia de las sustancias, se realizaron investigaciones sobre los expedientes oficiales revisados. Se trata principalmente de los expedientes sobre la evaluación del riesgo de EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria) y US EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos); expedientes de la Comisión Europea para la elaboración de normas de calidad ambiental.

3.2.4 Sistema de puntuación para el sistema acuático

Para obtener una visión general de las sustancias con las características más preocupantes para el medio ambiente, se calculó una puntuación PBMT según el método NORMAN. Se asignó una puntuación de 0,5 a las sustancias caracterizadas como potencialmente persistentes, potencialmente bioacumulativas, potencialmente tóxicas y potencialmente móviles. Se asignó una puntuación de 1 a las sustancias caracterizadas como persistentes, bioacumulativas, tóxicas y móviles. Se asignó una puntuación de 2 a las sustancias con una característica muy persistente, muy bioacumulativa, muy tóxica y muy móvil.

3.3 Resultados

3.3.1 Identificación de peligros y sustancias preocupantes para la salud humana

Para el indicador de toxicidad aguda, se identificaron siete sustancias que superan el umbral caracterizado como tóxico si la sustancia se ingiere o entra en contacto con la piel. De estas 7 sustancias, 3 se consideran mortales (terbufós, flocumafén, coumatetralyl) y 4 se consideran tóxicas (paraquat, fipronil, lambda cihalotrina, clorpirifós). El flocumafén y el coumatetralyl son rodenticidas con actividad anticoagulante, por lo que ocupan los primeros puestos de la lista.

Los herbicidas que figuran en la lista de sustancias consideradas ejercen en general una toxicidad aguda (dosis letal) de moderada a baja, esto podría explicarse por el hecho de que estas sustancias tienen una acción tóxica destinada a inhibir el metabolismo de las

plantas (inhibición de la fotosíntesis) (Tabla 5). Entre los herbicidas, sólo el paraquat se considera tóxico según su nivel de toxicidad aguda. Las sustancias activas clasificadas como tóxicas o letales son principalmente insecticidas por ejemplo el fipronil, el lambda cihalotrina y el clorpirifós. Estos insecticidas son principalmente agentes nerviosos dirigidos a enzimas clave como la acetilcolinesterasa y que inhiben los canales de sodio implicados en la transmisión axonal, también presentes en los seres humanos (Čolović et al., 2013; Corbel et al., 2009).

Los efectos más frecuentes (Figura 15) para los 39 ingredientes activos considerados en orden descendente son los efectos nocivos sobre el aparato reproductor (27 sustancias), el hígado y el sistema biliar (24), disruptores endocrinos (16). El cuarto efecto notificado incluye sustancias tóxicas para los riñones (13 sustancias), incluidos 10 herbicidas (ácido

2,4-diclorofenoxiacético, glifosato, paraquat, diurón, mesotriona, ametrina, atrazina, fluazifop, picloram, topamezona) y 3 insecticidas (fipronil, imidacloprid y tiametoxan). El uso intenso de herbicidas en el cultivo de la caña de azúcar y la incidencia de CINAC parece explicarse con el efecto de los herbicidas en los riñones.

En sexto y séptimo lugar de los efectos reportados son la neurotoxicidad y la carcinogenicidad. El glifosato se ha puesto entre corchetes porque su carcinogenicidad todavía se está debatiendo en diferentes grupos de expertos como el Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (IARC) y la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (SCAHT & Ecotox Centre, 2018).

Las sustancias carcinógenas, posiblemente y probablemente cancerígenas, incluyen 7 herbicidas (2,4-D, glifosato, diurón, s-metolacoloro, isoxaflutol, pendimetalina, terbutrina) y 1 insecticida (fipronil).

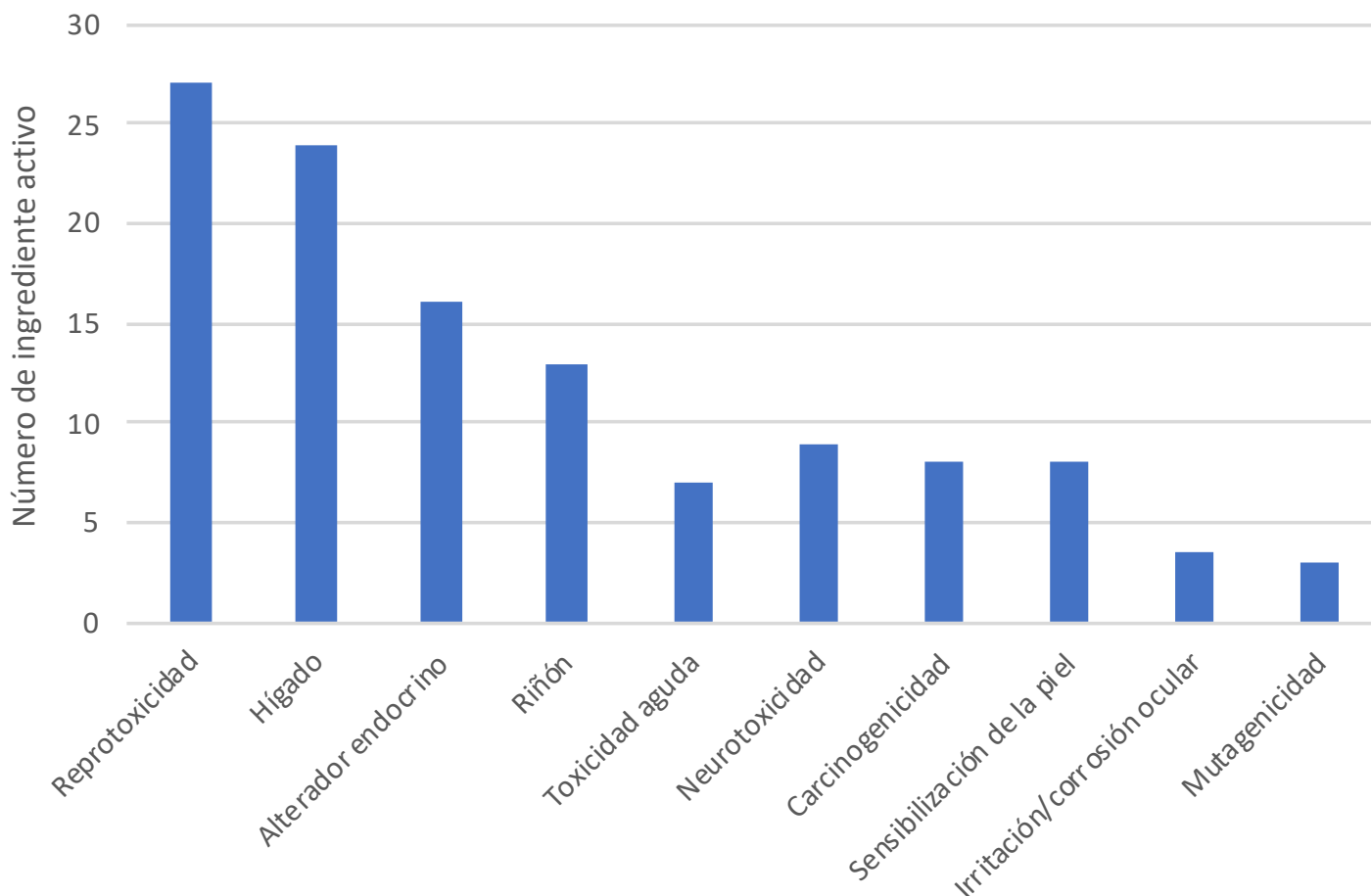


Figura 15 Frecuencia de los efectos agudos y crónicos de las 39 sustancias activas caracterizadas.

Tabla 6 Notación y clasificación según los indicadores de peligro de las sustancias activas. Las columnas marcadas con un "1" son sustancias que cumplen los criterios de clase de peligro establecidos en esta investigación para los indicadores de carcinogenicidad, mutagenicidad, reprotoxicidad, disruptor endocrino, toxicidad renal, toxicidad hepática, neurotoxicidad, toxicidad aguda, corrosividad cutánea, corrosividad ocular, sensibilización cutánea y respiratoria. Las sustancias marcadas con un "0,5" son las que causan irritación en la piel o en los ojos. Las sustancias de la columna "toxicidad aguda" marcadas con un "2" o un "3" son sustancias letales (tóxicas y muy tóxicas).

Ingrediente activo	CAS	Puntuación total	Carcinogenicidad	Mutagenicidad	Reprotoxicidad	Alterador endocrino	Riñón	Higado	Neurotoxicidad	Toxicidad aguda	Irritación/corrosión cutánea	Irritación/corrosión ocular	Sensibilización de la piel	Hipersensibilidad respiratoria
Fungicidas														
Pyraclostrobin	175013-18-0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Herbicidas														
2,4-D	94-75-7	7	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
Paraquat	1910-42-5	5.5	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0.5	0	0
Glifosato	1071-83-6	5-6	(1)	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
S-metolacoloro	51218-45-2	5	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Diuron	330-54-1	5	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Mesotrione	104206-82-8	4	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0
Isoxaflutole	141112-29-0	4	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Carfentrazone	128621-72-7	4	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Pendimetalina	40487-42-1	4	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
Fluazifop	69335-91-7	3	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Ethoxysulfuron	126801-58-9	3	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
Metribuzin	21087-64-9	3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
Ametrina	834-12-8	3	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
Atrazina	1912-24-9	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Picloram	1918-02-1	3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
Hexazinona	51235-04-2	2.5	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0
Cletodim	99129-21-2	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Topramezone	210631-68-8	2	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Metsulfuron metil	74223-64-6	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Glufosinate Ammonium	77182-82-2	2	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0

Riesgos ambientales y sanitarios de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en El Salvador:

Ingrediente activo	CAS	Puntuación total	Carcinogenicidad	Mutagenicidad	Reprotoxicidad	Alterador endocrino	Riñón	Hígado	Neurotoxicidad	Toxicidad aguda	Iritación/corrosión cutánea	Iritación/corrosión ocular	Sensibilización de la piel	Hipersensibilidad respiratoria
Indaziflam	950782-86-2	2	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Imazapic	104098-48-8	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Terbutrina	886-50-0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Imazapir	81334-34-1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0	0
Insecticidas														
Lambda cihalotrina	68085-85-8	7	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0
Fipronil	120068-37-3	6	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0
Terbufós	13071-79-9	6	0	0	1	1	0	0	0	3	0	0	1	0
Imidacloprid	138261-41-3	5	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
Clorpirifós	2921-88-2	4	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
Thiametoxan	153719-23-4	3	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
Triflumuron	64628-44-0	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Tebufenozide	112410-23-8	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Chlorantraniliprole	500008-45-7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Regulador de crecimiento														
Etefon	16672-87-0	3	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0
Trinexapac-ethyl	95266-40-3	2	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Rodenticidas														
Flocoumafen	90035-08-8	4	0	0	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Coumatetralyl	5836-29-3	3	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0

No todos los efectos enumerados para la salud humana pueden considerarse por igual, ya que el hecho de que una sustancia sea carcinógena debería servir ya para limitar significativamente la exposición del trabajador, si no para sustituirla por una alternativa menos peligrosa (EASHW, 2004). Otro ejemplo es el potencial mutagénico de algunas sustancias como el paraquat, lambda cihalotrina y hexazinona. De hecho, si estas mutaciones genéticas se producen en las células germinales, pueden heredarse a lo largo de varias generaciones y pueden reducir la fertilidad, las malformaciones, las enfermedades genéticas y la muerte embrionaria (Stepa et al., 2019). Sin embargo, para priorizar las sustancias activas con características de peligrosidad múltiple, se ha implementado un sistema de puntuación discutido en el subcapítulo 3.2.2.

El sistema de puntuación indica que las sustancias activas que revelan, según los conocimientos científicos actuales, la mayor multiplicidad de características de peligro para la salud humana son los herbicidas: 2,4-D (7), paraquat (5.5), glifosato (5-6), s-metolacoloro (5) y diuron (5). Del mismo modo, los insecticidas con las características más peligrosas para la salud humana son lambda cihalotrina (7), fipronil (6), terbufós (6), imidacloprid (5) y clorpirifós (4).

3.3.2 Identificación de peligros y sustancias de preocupación para el sistema acuático

En el anexo 10.3 (Lista de los peligros ambientales) del presente documento se recoge la información sobre los usos de las 39 sustancias activas (fungicidas, herbicidas, insecticidas, reguladores del crecimiento y rodenticidas).

Según la información reunida y los análisis realizados, siete sustancias son muy persistentes, entre ellas cuatro herbicidas (indaziflam, ácido 2,4-diclorofenoxiacético, terbutrina y paraquat), dos insecticidas (imidacloprid y clorpirifós) y un rodenticida (flocoumafen). A estas 7 sustancias se añaden 10 sustancias consideradas persistentes según la definición del capítulo anterior, entre ellas 6 herbicidas (atrazina, hexazinona, metribuzin, ametrina, topamezona, picloram), 4 insecticidas (clorpirifós, fipronil, tiametoxan, lambda cihalotrina).

Según el indicador de bioacumulación, tres sustancias se clasifican como muy bioacumulativas (flocoumafen, clorpirifós, imazápic) y dos sustancias como bioacumulativas (atrazina, carfentrazona). El triflumurón y la piraclostrobina se consideran potencialmente bioacumulativas.

Las sustancias consideradas altamente tóxicas para el medio ambiente son 2 herbicidas (indaziflam, metsulfuron metil), 4 insecticidas (imidacloprid, fipronil, lambda cihalotrina, terbufós) y 1 rodenticida (flocoumafen). A estas 7 sustancias altamente tóxicas se añaden otros 10 ingredientes activos considerados tóxicos, entre ellos 8 herbicidas (2,4-D, terbutrina, paraquat, hexazinona, metribuzin, imazapir, isoxaflutol, pendimetalina) y 2 insecticidas (clorpirifós, triflumurón). Las sustancias potencialmente tóxicas ascienden a 10, incluido un fungicida (piraclostrobina) y 9 herbicidas (atrazina, carfentrazona, ametrina, topamezona, diuron, etoxisulfurón, s-metolacoloro, cletodim, fluazifop).

Las sustancias consideradas "muy móviles", es decir, que no se adsorben fuertemente en el suelo y se desorben fácilmente por las lluvias y llegan a los cursos de agua o acuíferos, incluyen 26 sustancias. Este total incluye 18 herbicidas (véase la lista en el apéndice), 3 insecticidas y 2 reguladores de crecimiento. Siete sustancias se consideran "móviles", entre ellas 1 fungicida, 4 herbicidas y 2 insecticidas.

En el gráfico que figura a continuación (Figura 16) se resume el número de ingredientes activos con una o más de las propiedades peligrosas. Debe prestarse una atención muy especial a las sustancias PBT y mPmB (muy persistentes y muy bioacumulativas). Las sustancias PBT son muy preocupantes porque son especialmente peligrosas para la salud humana y el ecosistema. Estas sustancias pueden persistir en el medio ambiente (agua, suelo, sedimento), acumularse en los tejidos de los organismos vivos y causar una toxicidad aguda o crónica. Las sustancias identificadas como PBT según los criterios de esta investigación son el flocoumafen y el clorpirifós. Las sustancias que son muy persistentes y muy bioacumulativas también se consideran muy preocupantes porque se desconocen sus efectos a largo plazo. Sólo el flocoumafen se caracteriza de esta manera.

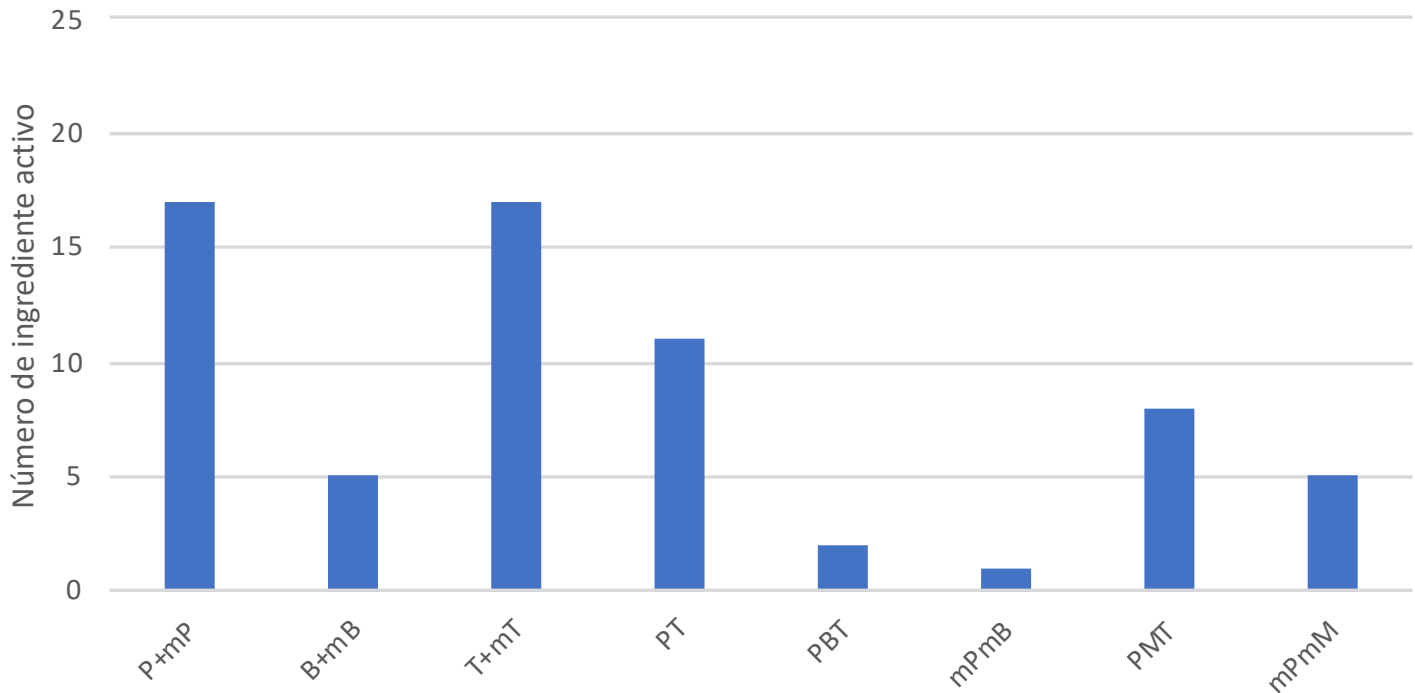


Figura 16 Número de sustancias caracterizadas como T+mT (tóxicas y muy tóxicas), P+mP (persistentes y muy persistentes), B+mB (bioacumulativas y muy bioacumulativas), PT (persistentes y tóxicas), PBT (pesistentes, bioacumulativas, tóxicas), mPmB (muy persistentes y muy biacumulativas), PMT (persistentes, móviles, tóxicas), mPmM (muy persistentes y muy móviles).

A fin de comprender las consecuencias de esta evaluación de la PBT o la mPmB, se utilizó el ejemplo de la legislación europea, ya que dicha legislación no existe en El Salvador. A nivel de la Unión Europea, no se autoriza la comercialización de los plaguicidas PBT y mPmB sin una evaluación de riesgos más exhaustiva (Fabrizi, 2014). Sin embargo, el clorpirifos ha sido prohibido a nivel europeo por sus efectos genotóxicos, neurotóxicos y reprotóxicos (EC, 2019b) porque los datos accesibles no justificaban su persistencia. El floucomafeno no está permitido debido a sus características de mPmB (EU, 2016).

Las sustancias que cumplen 2 de los 3 criterios PBT son candidatas a la sustitución (EC, 2009). Según el análisis, esto corresponde a 9 sustancias adicionales a las ya consideradas, entre ellas: 2,4-D, fipronil, hexazinona, imidacloprid, indaziflam, lambda cihalotrina, metribuzin, paraquat y terbutrina.

Se ha añadido un análisis de los plaguicidas con características físico-químicas que podrían contaminar

los recursos de agua potable en los acuíferos y/o pasar las barreras de tratamiento de agua potable. Los indicadores utilizados se basan en la propuesta de (Rüdel et al., 2020) de medir las sustancias persistentes, móviles y tóxicas (PMT), así como las sustancias muy persistentes y muy móviles (mPmM) en la clase de sustancias muy preocupantes. La lista de sustancias incluye 8 sustancias PMT con actividad tóxica que pueden encontrarse en el agua potable y 5 sustancias mPmM. Las sustancias mPmM pueden circular en el ciclo del agua y causar una contaminación difícil de recuperar (Rüdel et al., 2020).

Las sustancias que encabezan la lista de identificación de los peligros ambientales (tabla 7) son los herbicidas indaziflam (6), terbutrina (5), 2,4-D (5), atrazina (4,5), imazápico (4), metribuzin (4), hexazinona (4), metsulfurón metil (4). Los insecticidas que más preocupan son el imidacloprid (6), el fipronil (5), el clorpirifós (5), el clorantraniliprol (4,5) y el terbufós (4). El rodenticida floucomafeno (6) también está en la parte superior de la lista.

Tabla 7 Resultado de la puntuación de los criterios de PBMT para las sustancias activas con efecto plaguicida.

Ingredientes activos	CAS	Puntuación Total PBMT	Persistencia	Bioacumulación	Toxicidad	Movilidad
Fungicidas						
Pyraclostrobin	175013-18-0	2	0	0.5	0.5	1
Herbicidas						
Indaziflam	950782-86-2	6	2	0	2	2
Terbutrina	886-50-0	5	2	0	1	2
2,4-Dichlorophenoxyacetic acid	94-75-7	5	2	0	1	2
Atrazina	1912-24-9	4.5	1	1	0.5	2
Imazapic	104098-48-8	4	0	2	0	2
Metribuzin	21087-64-9	4	1	0	1	2
Hexazinona	51235-04-2	4	1	0	1	2
Metsulfuron metil	74223-64-6	4	0	0	2	2
Carfentrazone	128621-72-7	3.5	0	1	0.5	2
Topramezone	210631-68-8	3.5	1	0	0.5	2
Ametrina	834-12-8	3.5	1	0	0.5	2
Isoxaflutole	141112-29-0	3	0	0	1	2
Paraquat	1910-42-5	3	2	0	1	0
Picloram	1918-02-1	3	1	0	0	2
imazapir	81334-34-1	3	0	0	1	2
Ethoxysulfuron	126801-58-9	2.5	0	0	0.5	2
Diuron	330-54-1	2.5	0	0	0.5	2
S-metolacoloro	51218-45-2	2.5	0	0	0.5	2
Mesotrione	104206-82-8	2	0	0	0	2
Pendimetalina	40487-42-1	2	0	0	1	1
Fluazifop	79241-46-6	1.5	0	0	0.5	1
Cletodim	99129-21-2	1.5	0	0	0.5	1
Glifosato	1071-83-6	1	0	0	0	1
Glufosinate Ammonium	70393-85-0	0.1	0	0	0	0.1
Insecticidas						
Imidacloprid	138261-41-3	6	2	0	2	2
Fipronil	120068-37-3	5	1	0	2	2
Clorpirifós	2921-88-2	5	1	2	1	1
Chlorantraniliprole	500008-45-7	4.5	2	0	0.5	2
Terbufós	13071-79-9	4	0	0	2	2
Thiametoxan	153719-23-4	3.5	1	0	0.5	2
Lambda cihalotrina	68085-85-8	3	1	0	2	0
Tebufenozide	112410-23-8	2.5	0	0	0.5	2

Ingredientes activos	CAS	Puntuación Total PBMT	Persistencia	Bioacumulación	Toxicidad	Movilidad
Triflumuron	64628-44-0	2.5	0	0.5	1	1
Reguladores de crecimiento						
Etefon	16672-87-0	2	0	0	0	2
Trinexapac-ethyl	95266-40-3	2	0	0	0	2
Rodenticidas						
Flocoumafen	90035-08-8	6	2	2	2	0
Coumatetralyl	5836-29-3	2.1	0.1	0.5	0.5	1

3.3.3 Síntesis de los peligros para la salud humana y el medio ambiente

A fin de resumir la identificación de los peligros de cada sustancia para la salud humana y el medio ambiente, las sustancias se han consignado en el siguiente gráfico según la puntuación que se les ha asignado en los capítulos anteriores (Figura 17). Este gráfico ofrece una visión general de las sustancias activas de gran interés para la salud humana (zona derecha del gráfico) y para el ecosistema acuático (zona superior del gráfico).

Se ha añadido una línea punteada verde horizontal en el eje Y. Este límite corresponde a las sustancias con al menos 2 de las 4 características de peligro ambiental posibles (PMBT). También se ha añadido un límite de puntos rojos verticales en el eje X. Este límite corresponde a las sustancias que son muy tóxicas para la salud humana o que tienen al menos 2 características de peligro para la salud. El rectángulo situado en la parte superior derecha del gráfico formado por la intersección de los dos límites corresponde a las sustancias preocupantes para el sistema acuático y la salud humana. Hay 13 sustancias con características de peligro que preocupan a la salud humana y al sistema acuático. En cuanto a los herbicidas, el 2,4-D, el paraquat, la ametrina y la atrazina son los más utilizados. En cuanto a los insecticidas, los más utilizados son el imidachloprid, el clorpirifos, el terbufos y el fiponil.

Esta representación es indicativa pero no tiene en cuenta todas las características de peligro para el medio ambiente y la salud humana que deben examinarse más a fondo caso por caso. Por ejemplo, algunos plaguicidas pueden causar una mayor incidencia de ciertas enfermedades específicas (por ejemplo, el Parkinson)

que no se han considerado específicamente en esta evaluación. También hay efectos adversos específicos en el ecosistema (por ejemplo, la desaparición de las abejas) por ciertos grupos de sustancias (por ejemplo, los neonicotinoides) que no fueron considerados. También hay que tener en cuenta que no todos los efectos pueden considerarse equivalentes, por ejemplo el caso de las sustancias consideradas CRM, PBT o mPmB. Estas consideraciones se examinan en la conclusión. En todo caso, este gráfico parece indicar el grado mínimo de daño a la salud y al ambiente que estos agroquímicos pueden producir. Si se asigna una puntuación mayor a efectos como cancerogénicos, entonces la puntuación de algunos de estos químicos se incrementaría y pondrían en evidencia su mayor peligrosidad.

3.4 Conclusión

El objetivo de este capítulo fue identificar las características intrínsecas de cada ingrediente activo que puede ser utilizado, entre otros, en los cultivos de caña de azúcar y que se importan al país. Las sustancias se analizaron primero en función de sus peligros para la salud humana y luego para el sistema acuático y los acuíferos. También se procuró asignar el grado de peligrosidad de cada uno de los químicos analizados de acuerdo a su efecto y a la cantidad de producto usado en El Salvador.

Se recopiló información sobre 12 indicadores de efectos agudos y crónicos en la salud humana a partir de expedientes de evaluación de riesgos de Europa y los Estados Unidos e informes de centros y grupos de

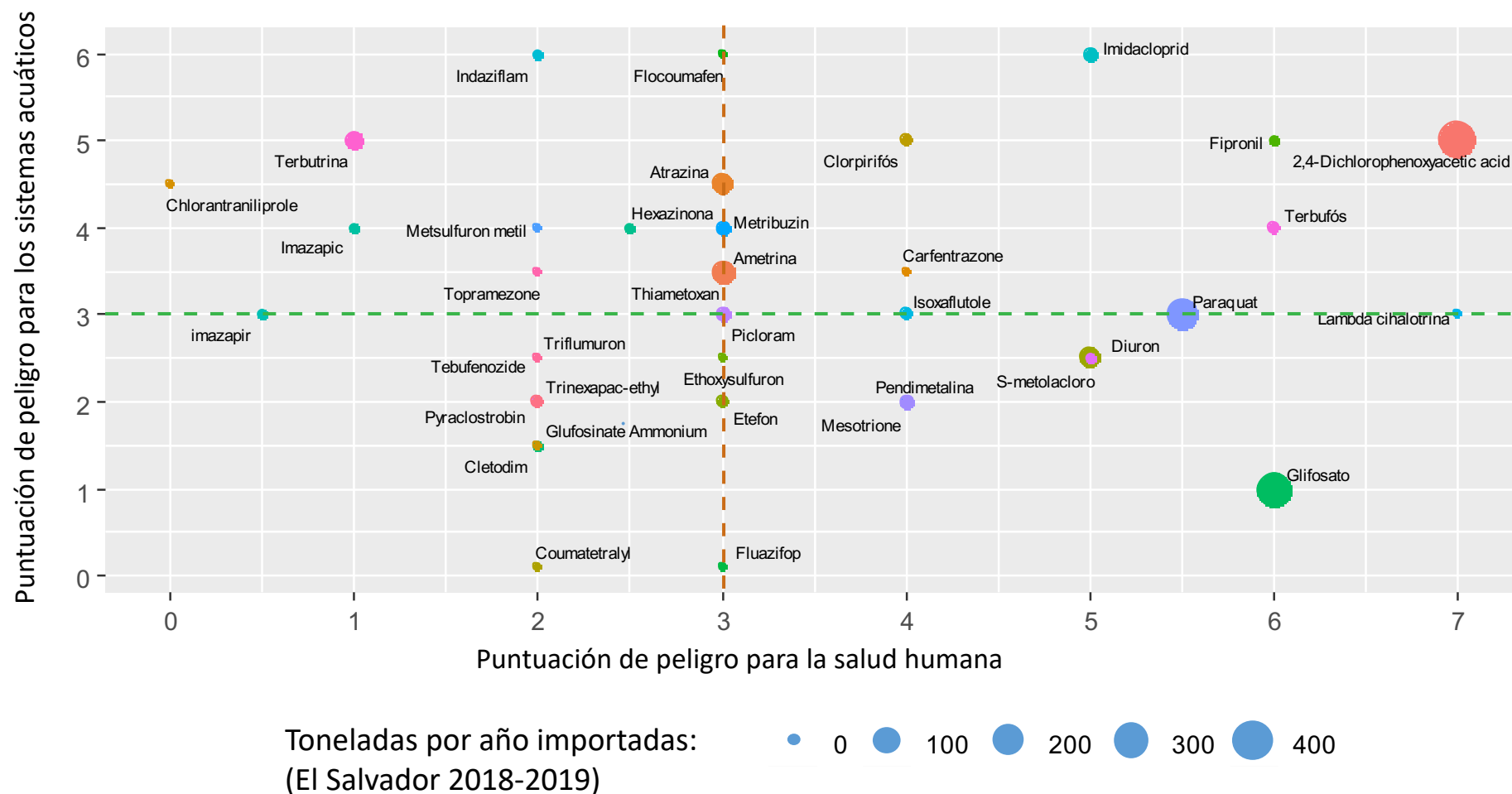


Figura 17 Resultados del análisis de los peligros para el medio ambiente y la salud humana. En el eje x, se obtienen puntuaciones para los peligros para la salud y en el eje y, se obtienen puntuaciones para los peligros para el ecosistema acuático y los acuíferos. El tamaño de los puntos es proporcional a las toneladas de productos importados a El Salvador en el año 2018-2019 (MAG, 2019a).

investigación internacionales. El análisis reveló que no basta con un análisis simplificado de los peligros de las sustancias según el indicador de toxicidad aguda solamente. De hecho, sólo 7 de las 39 sustancias activas analizadas tienen un potencial tóxico o fatal. Sin embargo, al analizar los demás efectos, 27 sustancias tienen un efecto tóxico en la reproducción, 24 en el hígado y el sistema biliar, 16 tienen un efecto potencial como disruptores endocrinos y 16 ejercen toxicidad en los riñones.

Siete ingredientes activos (potencialmente 8 con glifosato) de los 39 utilizados en El Salvador son posibles o probables cancerígenos. De estas 8 sustancias potencialmente cancerígenas (si se incluye el glifosato), 6 tienen también un efecto reprotóxico (ácido 2,4-diclorofenoxiacético, diurón, fipronil, glifosato, isoxaflutol, s-metolacoloro). Según la información reunida, ninguna de las sustancias tiene las tres características de la CMR (carcinógena, reprotóxica y mutagénica). Según las búsquedas bibliográficas, sólo los herbicidas paraquat, hexazinona y el insecticida lambda cihalotrina han mostrado efectos mutagénicos.

Se repitió el mismo ejercicio sobre los indicadores de peligro considerados en los marcos reglamentarios de Europa y América, entre ellos la persistencia, la bioacumulación y la toxicidad. A estos indicadores se añadieron los propuestos por el Organismo Alemán del Medio Ambiente, incluida la capacidad de la sustancia para llegar al sistema acuático y al acuífero.

El análisis de esos indicadores reveló 11 sustancias PT (persistentes y tóxicas), 2 sustancias PBT (persistentes, bioacumulativas y tóxicas) y una sustancia mPmB (muy persistente, muy bioacumulativa). De las 39 sustancias, 9 pueden acabar en acuíferos, 8 de las cuales son tóxicas y 5 muy persistentes y de gran movilidad. Dadas estas mismas cualidades físico-químicas (móviles y persistentes), estas sustancias serían difíciles de eliminar durante el tratamiento del agua para la purificación del agua potable.

La identificación del peligro es sólo la primera parte de la evaluación del riesgo para la salud humana y el medio ambiente. Por tanto, el efecto potencial que puedan ejercer estas sustancias dependerá de una multitud de factores como las vías de exposición, la duración, la frecuencia, la dosis, la potencia de la sustancia considerada (ECHA, 2013). Este estudio ha permitido identificar las sustancias de mayor peligrosidad para la salud humana y el medio ambiente que se están aplicando en El Salvador. El reconocimiento de estas sustancias tendría que ser la primera etapa en estudios futuros que traten de identificar las fuentes, movilidad y el destino de estas sustancias, así como su posible eliminación del ambiente salvadoreño. A fin de caracterizar la exposición de los seres humanos y el medio ambiente a estos plaguicidas, se realizó un estudio de caso en la zona baja del Río Paz.

4

Descripción de la Subcuenca Brazo del río Paz y del Manglar de Garita Palmera



4.1 Introducción

El capítulo anterior estaba dedicado a la identificación de los peligros de los plaguicidas que pueden utilizarse en los cultivos de caña de azúcar. El análisis de riesgos de estos productos no se limita a la caña de azúcar, ya que estos productos también se utilizan en otros cultivos. Un elemento central para determinar el riesgo para la salud humana y el medio ambiente es analizar cómo y en qué condiciones se utilizan estos productos en este tipo de cultivo.

Para responder a esta pregunta, se realizó un estudio de caso en la zona baja del Río Paz (Figura 18). Aunque estas investigaciones se centran en el análisis de los riesgos causados por el uso de plaguicidas, es esencial conocer el contexto en el que se producen. En efecto, sería simplista considerar que el problema de los plaguicidas

sólo puede resumirse en sus efectos directos sobre sus usuarios o el medio ambiente. Es necesario ubicar este problema en el contexto de la realidad socio-económica de la región. Con este fin, este capítulo está dedicado tanto a la descripción socioeconómica como a la física y climática de la zona. El último subcapítulo de esta línea de base informa sobre los resultados obtenidos durante el análisis de los conflictos territoriales locales relacionados con la industria azucarera y el uso de plaguicidas.

4.2 Metodología

La descripción biofísica, socioeconómica e hidrológica de la zona de estudio se basa en la recopilación bibliográfica de los informes realizados sobre esta zona por otros autores.

El análisis de los actores del territorio y de los conflictos relacionados con la presencia de cultivos de azúcar en el territorio se realizó según el método de “análisis contextual sensible al conflicto” (Marthaler & Gabriel, 2010). Este método se utilizó para dos propósitos diferentes. En primer lugar, este método permitió analizar las oportunidades y los riesgos asociados al proceso de investigación del territorio según un enfoque sensible al contexto de fragilidad. En segundo lugar, permitió analizar los actores involucrados, las fuentes de los conflictos y las reconciliaciones, así como reunir información sobre los impactos socioambientales de los cultivos de azúcar.

Este análisis se llevó a cabo durante un día con representantes de 11 comunidades (10 mujeres, 11 hombres) en el área de estudio. Las personas que participaron en el análisis del conflicto en la zona de estudio pertenecían a un amplio grupo de actores: agricultores y pescadores locales, familias que viven alrededor de los cañales y asociaciones de protección del medio ambiente.

4.3 Resultados

4.3.1 Descripción socioeconómica del área de estudio

El área de estudio se ubica en la zona baja del municipio de San Francisco Menéndez, departamento de Ahuachapán, al occidente del país. La zona baja de este municipio, alberga tres cantones: La Hachadura, Garita Palmera y El Zapote, en donde se establecen más de 18 comunidades en las que viven alrededor de 15 mil personas, las cuales, en su mayoría tienen una interacción constante con los bienes naturales procedentes de la subcuenca del río El Aguacate, el manglar de Garita Palmera y El Zapote, el cauce del río Paz (límitrofe con Guatemala) y el bosque húmedo tropical de El Zanjón El Chino, para el desarrollo de sus medios de vida y aprovechamiento de los recursos.

El territorio de la subcuenca El Aguacate se caracteriza

por una dinámica económica que entrelaza el comercio transfronterizo, la agricultura de subsistencia, la producción de caña de azúcar, el flujo de remesas del exterior, turismo y pesca artesanal en mar y manglar; siendo las actividades económicas primordiales: la agricultura de subsistencia, el comercio y la pesca artesanal.

El comercio transfronterizo se determina por el flujo de mercaderías en el casco urbano de Cara Sucia, ya que las actividades aduaneras y migratorias en la Frontera de La Hachadura facilitan el intercambio de mercancías de manera formal e informal, siendo este centro urbano el punto de referencia para los cantones y caseríos periféricos de San Francisco Menéndez como la región sur de Jujutla. La mayoría de las familias perciben remesas del exterior, principalmente de Estados Unidos, colocando a San Francisco Menéndez en los primeros 25 municipios del país que canalizan gran parte del total de remesas que entran anualmente⁴, ya que solamente en los primeros 3 meses del 2020, el municipio logró captar 13.4 millones de dólares en concepto de remesas.

La pesca en el manglar de Garita Palmera es uno de los principales medios de vida para unas 1,700 familias de 6 comunidades aledañas al bosque salado⁵, ya que los diferentes servicios proporcionados por el bosque salado les facilitan la generación de ingresos, seguridad alimentaria, recreación, insumos para la construcción, medicina, etc., a la vez que representa un medio clave para la mitigación natural de desastres y para la adaptación al cambio climático (Tabla 8). A continuación, se presenta una priorización de los elementos del ecosistema de manglar de los cuales las familias hacen uso del servicio natural.

En parte de la zona litoral del territorio, existen 3 comunidades costeras (El Tamarindo, Garita Palmera y Bola de Monte) que albergan una población pescadora del 48.2% en relación al total de personas en su comunidad, que ronda en unas 2,403 personas de dichas comunidades. Las especies de mayor extracción es esta parte del manglar son los peces y crustáceos

⁴ Banco Central de Reserva, Informe Estadístico de remesas familiares enero – marzo 2020.

⁵ Estudio Biofísico y Socioeconómico del Manglar de Garita Palmera, MARN, 2016.

Tabla 8 Servicios naturales de ecosistemas locales en la Subcuenca del río Aguacate. Fuente: Plan de Incidencia de MESAMA, UNES, 2019.

Ecosistema	Alimento	Vivienda	Ingresos económicos	Medicina	Recreación	Prevención de desastre
Ríos			X		X	
Estuarios-Manglares	X	X	X	X	X	X
Playas			X	X	X	
Bocana	X		X		X	X

que se utilizan en un 87.9% para seguridad alimentaria, mientras que, para comercio, los pescadores optan por la extracción en el mar. Más del 80% de las comunidades costeras hacen uso de la madera para construcción y leña para cocina. El afluente de El Aguacate es el único acuífero dulce que abastece el funcionamiento ecosistémico de dicho bosque.

A nivel agropecuario, la dinámica de producción varía según estratos sociales y modalidades de concentración de la tierra, por ejemplo, las familias más pobres y con poco acceso a la tierra, producen granos básicos principalmente y especies menores como medios de subsistencia; estratos medios o con mayor capacidad adquisitiva, producen frutales, hortalizas, ajonjolí y plátano, en algunos casos, estos estratos se encuentran organizados en cooperativas, y; un sector con capacidad agroindustrial y mayor concentración de tierra, produce y forma parte del mercado de la caña de azúcar⁶, estableciendo relaciones con el Ingenio Central de Izalco y la Asociación Salvadoreña Azucarera (CASSA) para la comercialización de dicho producto en el mercado nacional y regional. Por otro lado, la actividad pecuaria se caracteriza por bovinos manejados bajo pastoreo libre, equinos en pastoreo libre y estabulado, porcino en su mayoría en libertad, con una baja cantidad estabulados, y aves de corral en libertad.

4.3.2 Descripción hidrográfica y uso del suelo

La microcuenca del Zanjón El Aguacate (también conocida como Brazo del Río Paz) forma parte de la

cuenca del Río Paz que se origina en las montañas de Quesada en el departamento de Jutiapa en Guatemala (EcuRed, 2019). La cuenca del Río Paz tiene una superficie total de 2,647 km², de los cuales el 34% se encuentra en El Salvador y el 66% en Guatemala (Gallo & Rodríguez, 2010).

En el pasado, el curso principal del Río Paz delimitaba la frontera con Guatemala y pasaba por los humedales de Bola de Monte y El Botoncillo, donde desembocaba en el Océano Pacífico (Figura 18). En esa época, el Río Paz también alimentaba durante todo el año al Río El Aguacate, que suministra agua dulce a los humedales de Garita Palmera (G. Ramirez Villanueva, comunicación personal, 2020).

Sin embargo, la falta de gestión de las zonas altas y medias de la Cuenca Paz en lo que respecta al uso de la tierra y los recursos hídricos alteró el equilibrio hidrológico y la dinámica sedimentaria del Río Paz (Gallo & Rodríguez, 2010). La parte superior de la zona de captación tiene un potencial de erosión mayor que la parte media. Todo el material erosionado se deposita en la parte inferior de la cuenca de captación causando la obstrucción de los ríos. Este fenómeno también conduce a la pérdida de suelo y sus nutrientes por lixiviación en la parte superior de la cuenca (EcuRed, 2019). Este cambio en la dinámica sedimentaria es una de las causas de la agradación del lecho del antiguo río perenne El Aguacate, situado en la zona baja de la cuenca del Río Paz (G. Ramirez Villanueva, comunicación personal, 2020).

Tras dos fenómenos climáticos extremos, entre ellos el huracán Camille (1964) y el huracán Fifi (1974), el

⁶ <http://www.consaa.gob.sv/zonas-productoras-de-cana-de-azucar-en-el-salvador/>

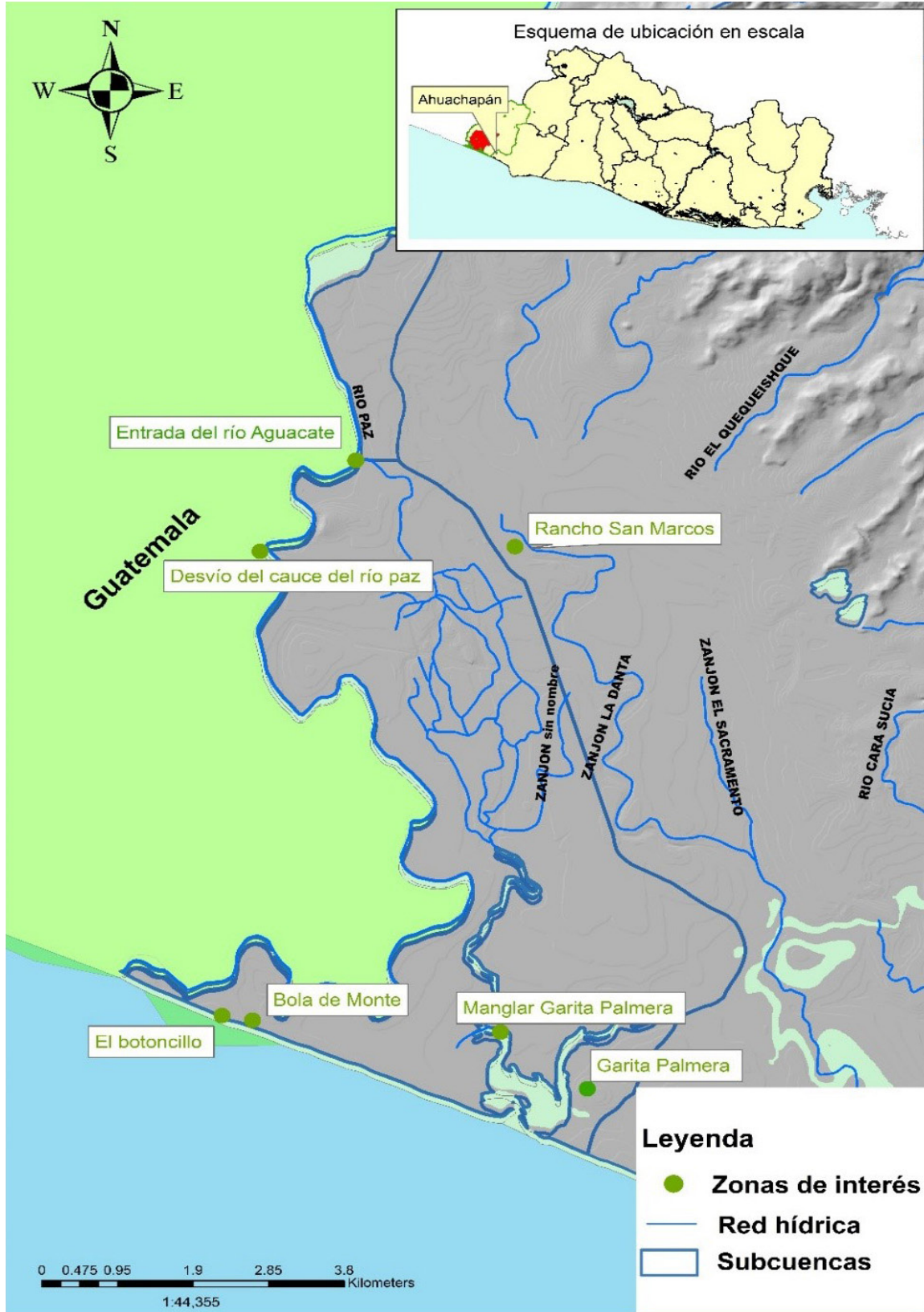


Figura 18 Red de agua de la microcuenca El Aguacate delimitada con el borde azul grueso al centro del mapa. El punto de defluencia del Río Paz (“Entrada en el Río del Aguacate”) y el desvío del Río Paz para el territorio guatemalteco que se produjo en 1974 están marcados en el mapa. La red de agua del zanjón se caracteriza por modificaciones morfológicas muy fuertes del lecho natural de río para las actividades de irrigación de los cañales.



Figura 19 A) Transporte de agua bombeada desde Río Paz al cañal (abril 2019, N13 47.480, W090 06.941). B) Desvío del río Aguacate mediante la excavación de acequia con una excavadora para regar los cañales (abril 2019, N13 46.540, W090 05.572).

Río Paz dejó su cauce original ($13^{\circ}47'52.25$ "N - $90^{\circ}7'2.06$ "O) para dirigirse a un canal de riego en territorio guatemalteco (Gallo & Rodríguez, 2010). Este fenómeno creó lo que ahora se llama la subcuenca el Nuevo Paz ubicada en territorio guatemalteco (Gallo & Rodríguez, 2010). Actualmente, el antiguo lecho del Río Paz y el Zanjón del Aguacate reciben agua sólo durante los periodos en los que se producen lluvias muy intensas durante los eventos climáticos llamados "temporales" (Wildi, 2019).

Esta desviación del curso original del río tiene repercusiones en las reservas de agua dulce disponibles en la zona baja para uso doméstico y agrícola, pero también amenaza a los humedales de Bola de Monte, Garita Palmera y el Botoncillo. Según Gallo & Rodríguez (2010) aproximadamente 2,600 millones de metros cúbicos de agua dulce al año ya no fluyen en estos ecosistemas.

La falta de agua dulce en el humedal de Garita Palmera también se ve agravada por otros dos fenómenos. El primero, mencionado anteriormente, debido a la acumulación de material sedimentario que impide que el agua entre en el Zanjón y el segundo, es el uso excesivo de estas aguas en el riego de los cañales que se produce durante todo el período seco de febrero mayo (Figura 19A) (Maximus*, 2019). Como puede verse en el mapa (Figura 18) y en las fotografías (Figura 19B) la morfología de este río ha sido muy modificada.

El siguiente gráfico (Figura 20) ilustra el promedio de precipitaciones acumuladas (mm) por mes para el área de estudio, la cual se caracteriza por una abundante precipitación anual del orden de 1,700 mm. Sin embargo, la distribución de las precipitaciones es muy desigual, con una época seca entre diciembre y abril y una época lluviosa entre mayo y noviembre. Las precipitaciones entre mayo y octubre corresponden al 95% de las precipitaciones anuales (Buckalew et al., 1998).

De los 30 km² de superficie de esta microcuenca, aproximadamente un tercio de su superficie total se dedica al cultivo de la caña de azúcar (Basagoitia Quiñonez & Flores, 2016). Otros cultivos en la zona son el maíz, los plátanos, los cocos, la yuca y las sandías. Las vacas también se crían en pastos (Wildi, 2019). El mapa siguiente muestra el uso de la tierra según el tipo de cultivo (Figura 21).

Según un análisis de datos realizado por Basagoitia Quiñonez en 2016, la microcuenca se divide en 18,9 km² de mosaico de cultivos, granos básicos, plátanos, pastos y bananos, 8,5 km² y 1,2 km² de manglares. El bosque mono específico en transición y tejido urbano representa sólo 1,1 y 0,2 km² de la cuenca (Basagoitia Quiñonez & Flores, 2016).

Según los resultados del modelo de precipitación-escurrimiento EVALHID, existe una sobreexplotación

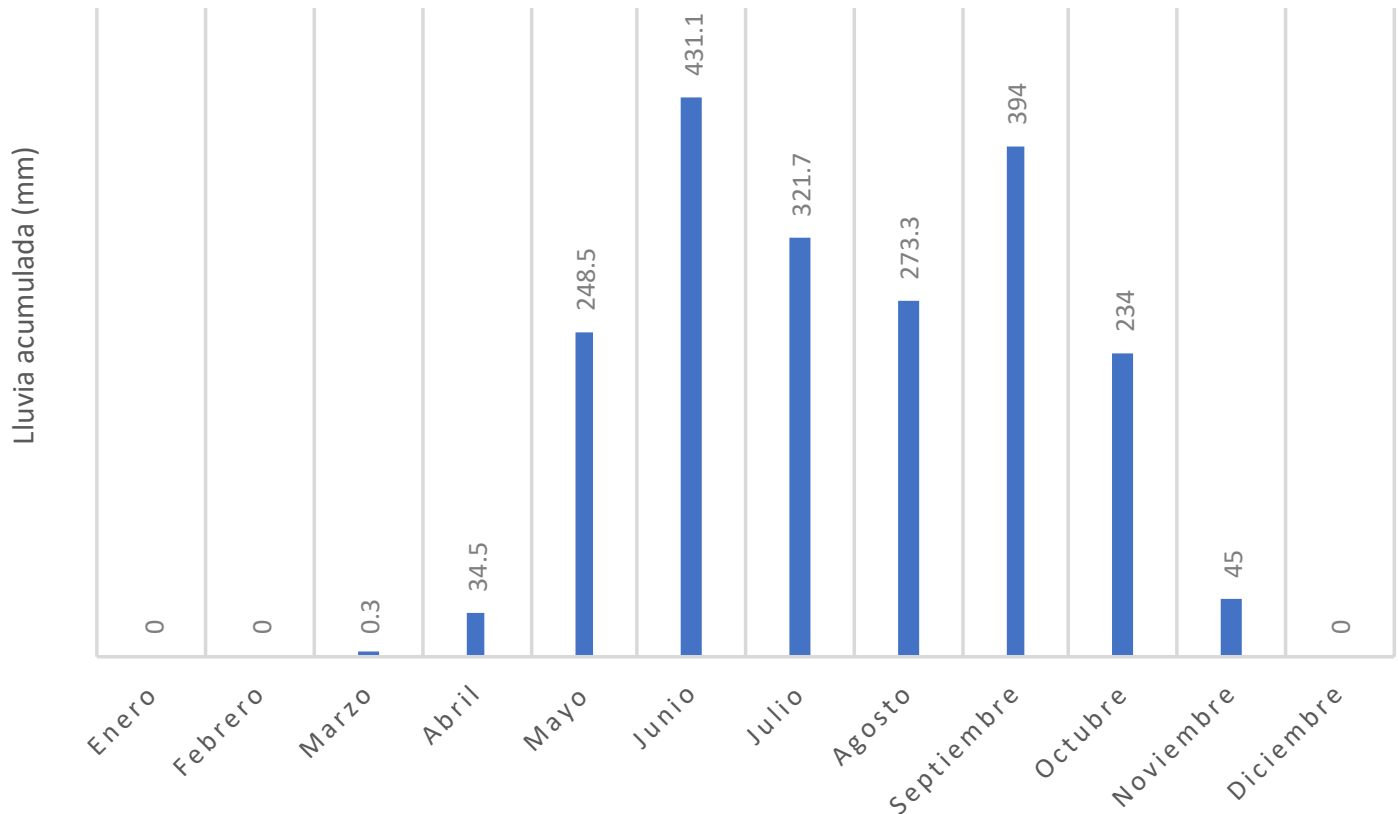


Figura 20 Distribución de las precipitaciones durante el año según los datos recogidos desde 1970 hasta 2014 en las estaciones de medición de Ahuachapán, La Hachadura y Cara Sucia (Basagoitia Quiñonez & Flores, 2016).

de las aguas del acuífero de la microcuenca igual a 450.000 m³ (Basagoitia Quiñonez & Flores, 2016). La extracción de agua de este acuífero proviene, en términos de volumen de agua, el 81% para el riego de la caña de azúcar, el 11% para la actividad de la ganadería y otros cultivos y el 8% para uso doméstico.

4.3.3 Descripción biofísica del humedal de Garita Palmera

El humedal de Garita Palmera es parte del Área de Conservación Barra de Santiago – El Imposible. Esta Área de Conservación se ubica en el extremo sur oeste del país que pertenece a la Planicie Costera y Cadena Costera (Figura 22). Es uno de los sitios de mayor riqueza de especies y de ocurrencia de especies restringidas (MARN, 2010).

La principal característica geomorfológica de Garita Palmera es su barra de arena en disposición paralela a la línea de costa con algo más de 4.5 km de largo y

un ancho variable entre 200 y 400 m. Este ambiente se caracteriza por sedimentos salinos frecuentemente anaeróbicos y fangosos, y se definen suelos anmoor, cuya formación está estrechamente ligada a estos ambientes y su composición es básicamente materia orgánica humidificada mezclada con arcilla en condiciones anaeróbicas. El anmoor se forma en medios temporalmente inundados, siendo un buen indicador geomorfológico de las zonas potencialmente inundables (Geólogos del Mundo 2012 citado en [Vásquez-Jandres et al., 2017](#)).

El humedal Garita Palmera se encuentra influenciado directamente por el río Paz y la subcuenca del río El Aguacate. Sin embargo, indirectamente también se encuentran en una parte influenciada por sistemas de ríos y zanjones que drenan del territorio de influencia de El Parque Nacional El Imposible. En dicha zona se localizan nueve diferentes subcuencas que van desde 14 a 64 km² de extensión y que se originan en la parte montañosa de El Imposible (Requena Quintanilla 1993 citado en [Vásquez-Jandres et al., 2017](#)). Los ríos más

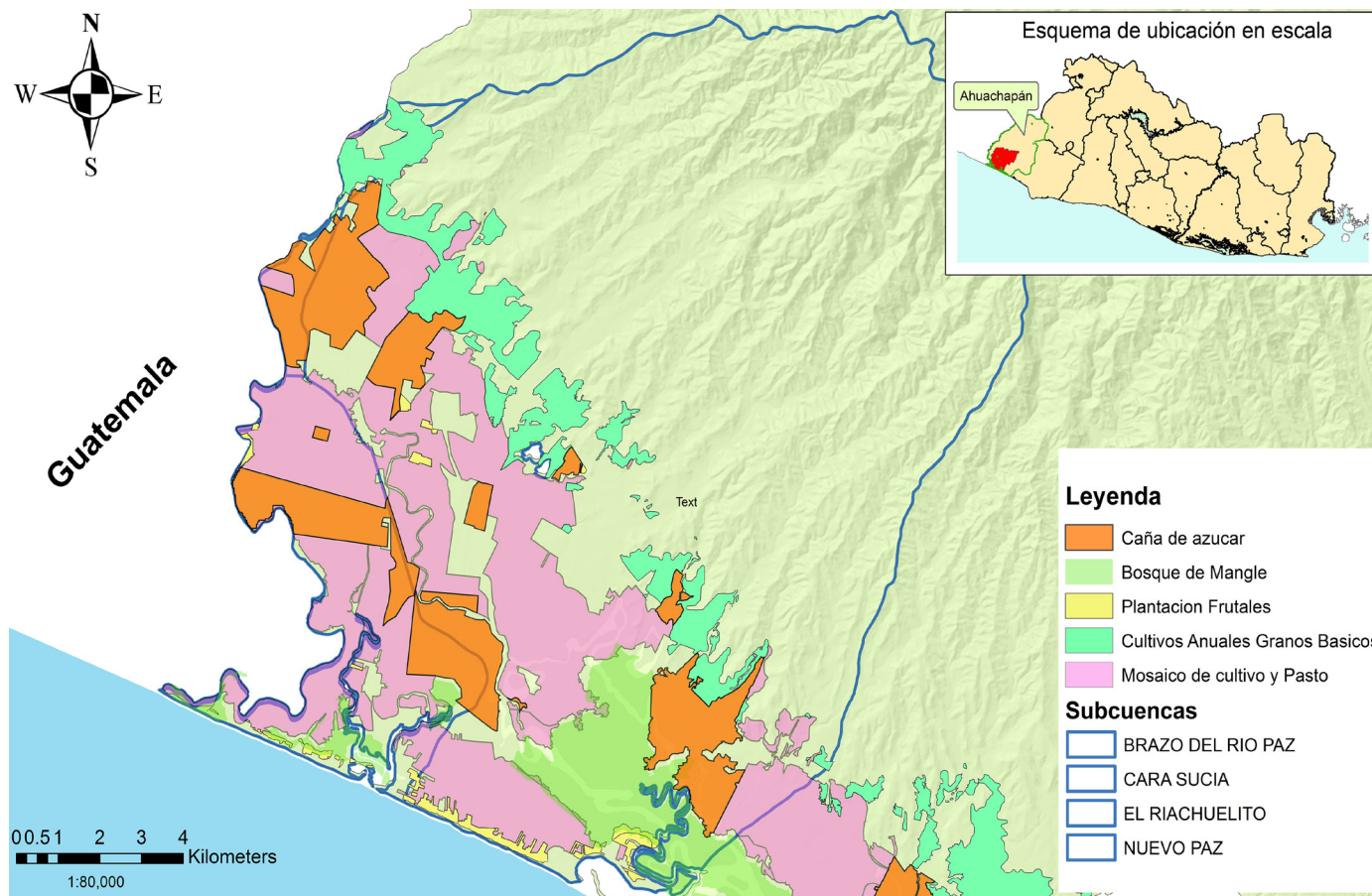


Figura 21 Mapa del uso del suelo de la zona baja del Río Paz basado en los datos del MARN 2012

importantes de influencia indirecta son el río Cara Sucia y el río San Francisco.

El comportamiento de los ríos es bien diferenciado con un fuerte control fisiográfico en las diferentes partes del cauce. En las zonas altas, donde los ríos se encuentran encajonados y con fuertes pendientes, dominan los procesos de erosión y transporte; mientras que en las zonas medias los ríos van perdiendo su capacidad erosiva y su pendiente, por lo que los cauces ya no van tan encajonados y tienen un comportamiento más meandriforme (Geólogos del mundo 2012 citado por Vázquez-Jandres 2017).

El sistema estuarino/manglar de Garita Palmera posee una extensión superficial de 488 Ha en total, de las cuales 368 Ha corresponden al estuario y manglar, 60 Ha marinas y 71 Ha de palmares y otras tierras inundables; una profundidad promedio en la porción

marina hasta 6 metros (no se tienen datos para la porción correspondiente al estero, pero muy probablemente la profundidad no supera a los 6 metros), y; elevación del espejo de agua de 0 msnm. Con respecto al ecosistema/zona de vida, es bosque húmedo subtropical.

Esta área se compone de tres porciones, atendiendo al proceso fragmentado de este lugar. Las primeras dos porciones totalmente fragmentadas se encuentran paralelas a la carretera que conduce al caserío y comunidades de Garita Palmera. Estas se caracterizan por dominio en su parte más interna de "mangle rojo" (*Rhizophora mangle*) con poco desarrollo estructural y a veces en asociación con árboles de "sincahuite" (*Laguncularia racemosa*) considerándose un bosque semiral. En condiciones con evidente perturbación antrópica.

El área principal de cobertura de manglares y red

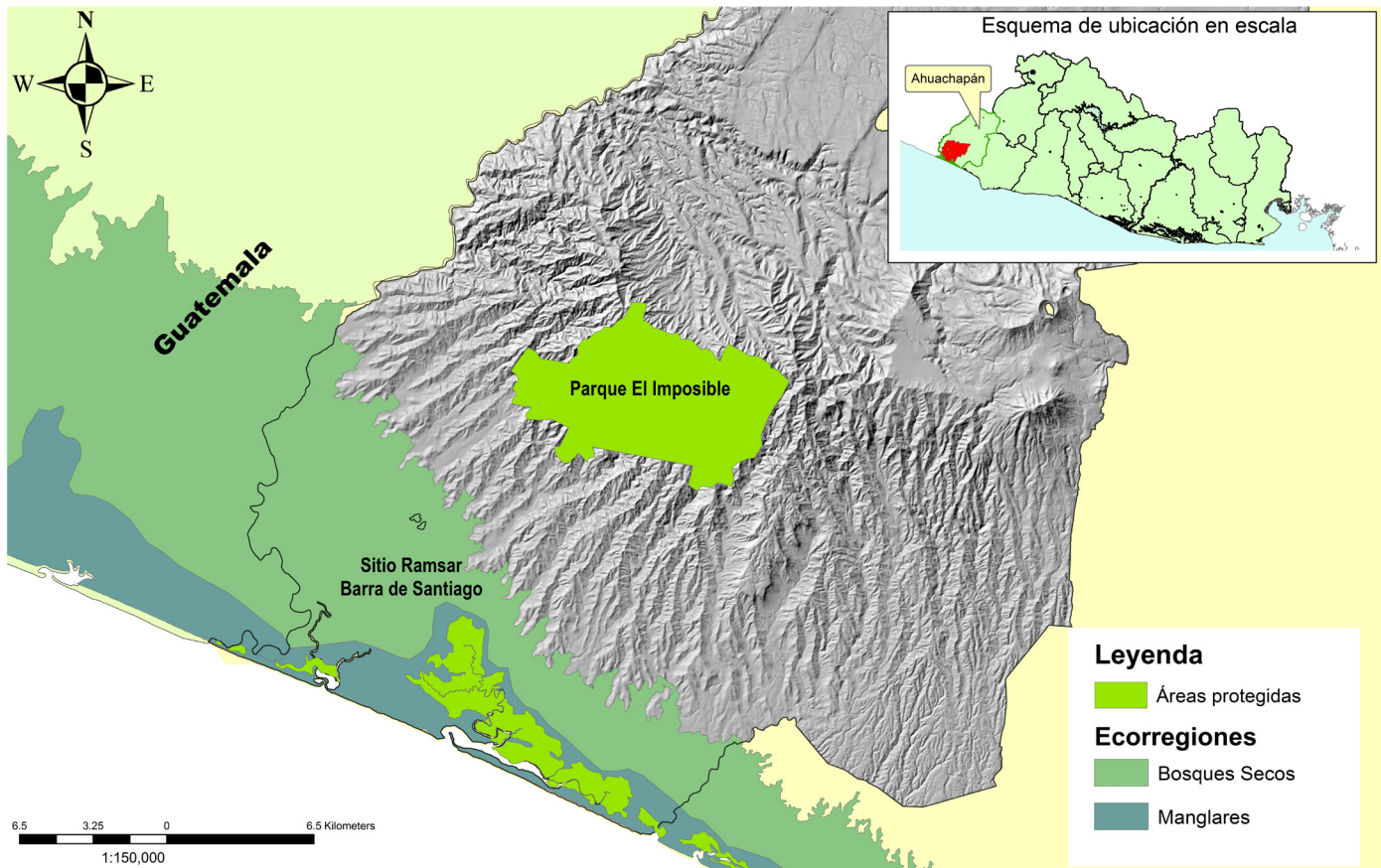


Figura 22 Área de Conservación Barra de Santiago– El Imposible

primaria, y de canales secundarios; está formada por la bocana, que típicamente es una barra arenosa muy dinámica y sujeta a los cambios hidromorfológicos y oceanográficos determinados por corrientes, mareas, carga hídrica y factores atmosféricos como precipitación pluvial, dirección de los vientos, temperaturas ambientales. Todo lo anteriormente expuesto crea una dinámica inestable en este sector.

La bocana de Garita Palmera se estima en una superficie de 1.2 km² con un ancho y profundidad variable de acuerdo al patrón de mareas de 200 m y profundidad entre 0.5 – 2 m. en su porción interna se observa el bosque de manglar (350 m desde la bocana) con sectores semidensos y densos de “mangle rojo” en condiciones aceptables de conservación. Principalmente los sectores conocidos como Bajo Caballo y El Baral, y en menor medida sectores conocidos como Los Cayucos (13°43'34.06"N - 90° 4'59.57"O).

Es importante mencionar que existe un patrón de

zonación con gradientes de mayor inundación, dominados por “mangle rojo” y “sincahuite”; a veces en asociación. En las partes menos inundadas el dominio es de las especies “botoncillo” (*Conocarpus erectus*) e “Istaten” (*Avicenia germinans*). En términos generales el bosque de manglar posee un desarrollo estructural considerable. Por otra parte, es importante recalcar que la principal fuente fluvial proviene del río Paz y la subcuenca del río El Aguacate.

La franja marina corresponde a un frente de playa arenoso (fino) de pendiente suave y con una longitud aproximada de 5.5 km. Por otra parte, esta franja también incluye aguas externas a la bocana estrictamente oceánicas, limitando con las 3 millas marinas.

La zona se compone de un área Ecotonal y un bosque caducifolio representando por la “palma real” (*Brahea salvadorensis*). La franja tradicional se encuentra mayoritariamente formada por “huiscoyol” (*Bractris major*).

4.3.4 Análisis de actores y conflictos en el territorio

Se han identificado más de 30 organizaciones (Figura 23) que operan en el territorio y están directa o indirectamente relacionadas con el tema de los plaguicidas. Se realizó una selección de los principales actores y se organizaron de acuerdo a su tipo de relación con el tema. El primer grupo de actores identificados está conformado por instituciones nacionales como el MAG, encargado de la autorización de importación de plaguicidas, el desarrollo agrícola sostenible y económico; el MARN, encargado de reducir la degradación ambiental, y; el MINSAL, que garantiza a sus ciudadanos un servicio de salud integral en armonía con el medio ambiente (MAG, 2019c; MARN, 2019; MINSAL, 2019).

El segundo grupo de actores identificados está conformado por proveedores locales, nacionales e internacionales de plaguicidas (legalmente establecidos o que operan de forma ilegal) como fabricantes, distribuidores y revendedores (agroservicios).

El tercer grupo de actores diferenciados son los usuarios, incluidos los agricultores locales que utilizan agroquímicos para la producción de alimentos, los productores de plátano y la industria azucarera. Este grupo de partes interesadas está formado por personas expuestas directamente a los agroquímicos durante su preparación y/o uso.

El cuarto grupo de partes interesadas está formado por individuos y grupos de individuos expuestos indirectamente a través del uso de estos plaguicidas. Este grupo incluye a las comunidades de los alrededores de los cultivos y a las asociaciones de pescadores.

El último grupo de actores que operan en el territorio, está formado por asociaciones locales, ONG, oficinas municipales y policía ambiental a cargo de la protección del medio ambiente.

El análisis de los conflictos en el territorio ha puesto de relieve los problemas, las causas, la intensidad, el riesgo de escalada y los elementos de reconciliación. Se resumen en la siguiente tabla (Tabla 9):

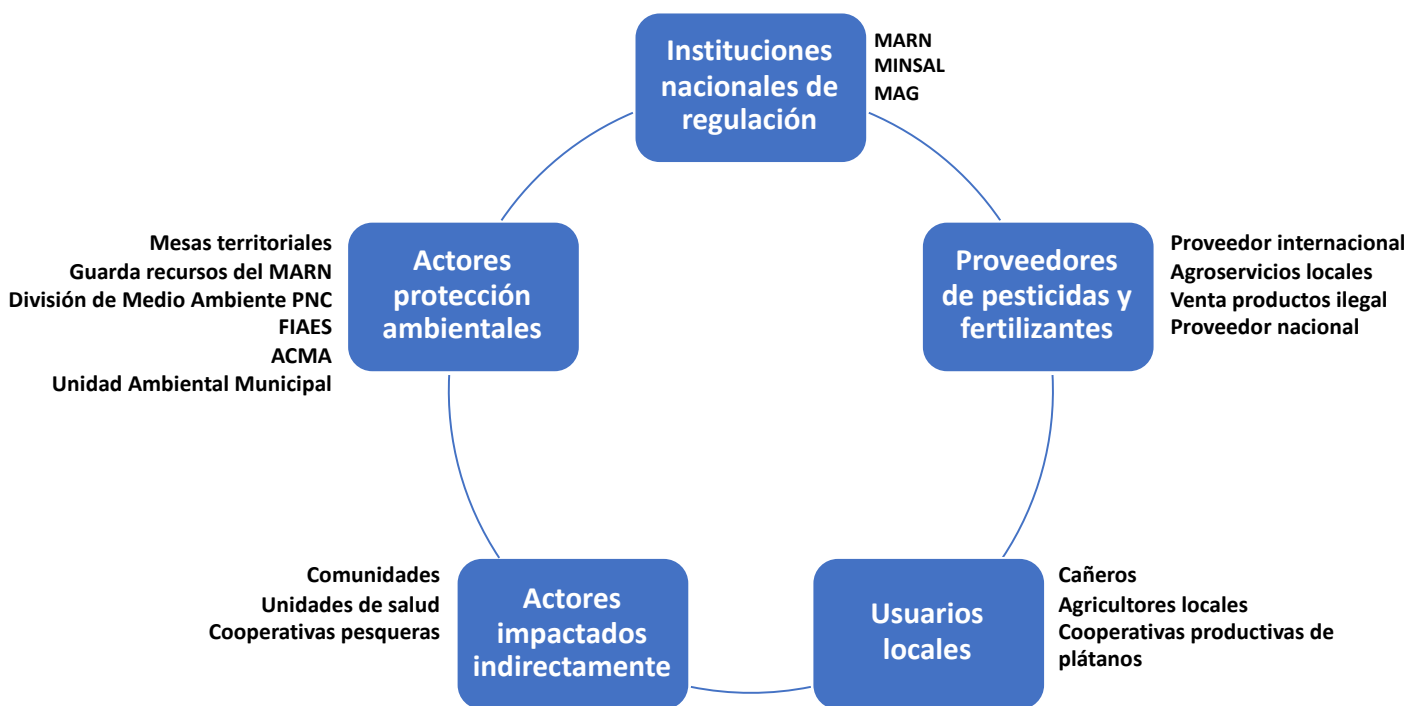


Figura 23 Articulación de los diferentes grupos de partes interesadas relacionados con el tema de los plaguicidas a nivel nacional y territorial, empezando por las instituciones reguladoras nacionales, los proveedores de plaguicidas, los usuarios, las partes interesadas indirectamente afectadas por su uso y las partes interesadas en la protección del medio ambiente.

Tabla 9 Análisis de los problemas, causas y actores involucrados en conflictos en el territorio con un alto grado de tensión.

Problemas encontrados	Causas mencionadas	Actores implicados
Pérdida de acceso a la tierra para la producción de subsistencia	Compra de tierras para la plantación de caña de azúcar. Precios altos de alquiler de la tierra a los agricultores locales	<ul style="list-style-type: none"> • Industria azucarera • Productores locales
Maduración temprana y pérdida de la producción de subsistencia (maíz, plátano, yuca, sandía, etc.).	Deriva de los agentes de maduración (glifosato, trinexapac-etilo) durante la aplicación desde aeronaves en los campos de cana de azúcar	<ul style="list-style-type: none"> • Industria azucarera • Productores locales
Disminución de las cantidades de peces, camarón, cangrejos capturados en los manglares	Mortalidad elevada debido a la escorrentía de plaguicidas en ríos y manglares y posible entrada de exceso de sedimentos, pérdida de suministro de agua dulce.	<ul style="list-style-type: none"> • Industria azucarera y otros usuarios de plaguicidas • Pescadores locales
Salinización de los pozos de agua de uso doméstico en la comunidad	Sobreexplotación de los recursos hídricos en acuíferos y aguas superficiales con fines de riego.	<ul style="list-style-type: none"> • Industria azucarera • Comunidades
Falta de entrada de agua dulce en los manglares	Riego de grandes extensiones. Desvío de ríos con fines de irrigación.	<ul style="list-style-type: none"> • Industria azucarera • Pescadores locales • Asociación de protección ambiental
Mortalidad alta en algunas comunidades debido a la insuficiencia renal	Aplicación de plaguicidas	<ul style="list-style-type: none"> • Industria azucarera • Comunidades
Accidentes, quemaduras/irritación, intoxicaciones durante el uso de plaguicidas	Falta de información para los proveedores y capacitación de los usuarios con el uso de equipo apropiado, venta sin control de pesticidas	<ul style="list-style-type: none"> • Productores locales • Agroservicios • Unidades de salud
Criminalización de líderes de organizaciones ambientales locales	Intereses divergentes entre las comunidades y la industria	<ul style="list-style-type: none"> • Industria azucarera • Productores locales • Pescadores locales • Asociación de protección ambiental

Este análisis de los conflictos y problemas que enfrentan las comunidades revela las amenazas a su entorno vital y a la soberanía alimentaria de las 9,000 personas que viven en esta cuenca. De hecho, cinco de los ocho problemas principales a los que se enfrenta la población son el acceso a la tierra para la producción de grano básico, la pérdida de cultivos debido a la propagación de agentes maduradores y la pérdida de acceso al agua dulce en los pozos domésticos.

Dos problemas a los que se enfrenta la población están relacionados con el uso de plaguicidas y su impacto en la salud de los/as trabajadores/as. El último fenómeno al que se enfrenta la población es, en cierta medida,

la causa y consecuencia de las tensiones entre los diferentes actores, esta es la criminalización de los actores comunitarios que defienden sus derechos por parte de ciertos actores que ostentan el poder.

La industria azucarera es uno de los principales actores y motores de la mayoría de las problemáticas y conflictos a los que se enfrentan las comunidades locales. Los aspectos positivos reportados por las comunidades sobre esta industria son la fuente de empleo que genera, así como algunas compensaciones otorgadas por la empresa como la construcción de caminos asfaltados o aulas.

4.4 Conclusión

La descripción de los elementos socioeconómicos de la zona baja del Río Paz reveló diferentes elementos. En primer lugar, las comunidades que viven en la zona dependen principalmente de la agricultura de subsistencia y la pesca para su supervivencia. Sus fuentes de ingresos provienen de la venta de sus productos en el mercado de Cara Sucia, de la obtención de remesas y, para algunos/as, del trabajo en los cañales. El acceso a la tierra para el campesinado y la preservación de los espacios naturales son, por lo tanto, condiciones vitales para su supervivencia en esta zona, aún así, son los más amenazados por la industria azucarera.

Las zonas de manglares son particularmente importantes porque protegen a la población de estas comunidades de eventos climáticos adversos, les previene de desastres y son una fuente de ingresos, alimentos, medicinas y recreación en su vida cotidiana.

La presión sobre los recursos de agua dulce en la zona es muy alta. Esto se explica, por una parte, por un régimen de lluvias desigual, con la mayoría de las precipitaciones concentradas durante los meses de mayo a octubre. Desde el desvío del Río Paz en los años setenta, el zanjón El Aguacate sólo recibe agua durante los eventos de lluvia de alta intensidad.

Esta falta de agua dulce superficial accesible significa que el principal consumidor de agua dulce para el riego, los cultivos de azúcar, se está desplazando hacia la explotación del agua de los acuíferos. Según una investigación hidrogeológica (Basagoitia Quiñonez & Flores, 2016), los cañales representan ahora el 80% de la sobreexplotación de este recurso en la cuenca.

El análisis del conflicto puso de relieve tres problemas

que están directa e indirectamente relacionados con el uso de plaguicidas en las comunidades:

1. La aplicación aérea de agentes de maduración en los campos de caña de azúcar y que afectan a los cultivos de subsistencia circundantes de las comunidades.
2. El impacto en la salud de los/as trabajadores/as y campesinado que aplican los plaguicidas (accidentes durante la aplicación y mortalidad por enfermedad renal crónica).
3. El impacto en el ecosistema acuático por la escorrentía de fertilizantes y plaguicidas y su consecuente impacto en la población de pescadores/as.

El análisis de conflictos también revela una dicotomía entre las comunidades y el sector de producción de azúcar. Por un lado, las comunidades dependen en gran medida de la industria azucarera como fuente de trabajo remunerado. Por otra parte, la misma industria es directa o indirectamente responsable de la pérdida de acceso a las tierras de cultivo, la degradación de su medio ambiente y ecosistemas, la pérdida y degradación de los recursos hídricos y el deterioro de la salud de las comunidades, perjudicando su calidad y esperanza de vida debido a la enfermedad renal crónica de causas desconocidas.

El análisis anterior pone de manifiesto la necesidad de una supervisión gubernamental del uso del agua superficial y subterránea con regulaciones justas que no beneficien sectores ya enriquecidos, privilegiados y de poder, a expensas del sufrimiento y empobrecimiento de los sectores más vulnerables.

5

Exposición humana a los plaguicidas



5.1 Introducción

Los plaguicidas tienen tres vías principales de entrada al cuerpo humano: a través de la ingestión, la inhalación y la vía dérmica (OCSPP US EPA, 2015b). La exposición humana a los plaguicidas puede caracterizarse en función de la exposición a través de la actividad profesional (exposición ocupacional) y de la exposición no profesional (exposición no ocupacional).

La exposición ocupacional está dada por el contacto directo con los plaguicidas, esta incluye principalmente a trabajadores agrícolas, trabajadores que sintetizan y formulan plaguicidas y fumigadores domésticos (Damalas & Eleftherohorinos, 2011). Estos trabajadores son más propensos a la intoxicación aguda (Fenske & Day, 2005).

El proceso de utilización de los plaguicidas consta de varias fases que, si no se llevan a cabo adecuadamente

y de acuerdo con las buenas prácticas, pueden exponer a los seres humanos, su entorno y el ambiente a altos riesgos. Mejía et al. (2015) describe cada una de estas etapas, las cuales consisten en:

1. Compra y selección
2. Transporte de los plaguicidas
3. Almacenamiento de los plaguicidas
4. Formulación de los plaguicidas
5. Aplicación de los plaguicidas
6. Remanentes y desechos de los plaguicidas

La selección y compra del plaguicida es importante por dos razones. En primer lugar, se trata de elegir un producto legal, apropiado en términos de su uso previsto y que minimice los peligros para las personas y

el medio ambiente. En ese momento, el vendedor debe informar al usuario del equipo de protección apropiado que se utilizará para minimizar la exposición del usuario. El vendedor debe especificar las condiciones de uso y las dosis a aplicar para minimizar la exposición del medio ambiente, los transeúntes y los residentes (Mejía et al., 2015).

El segundo paso consiste en transportar los plaguicidas de forma segura para evitar derrames accidentales cuando el envase protector se dañe por la luz del sol o por objetos afilados, el contacto con niños, animales y alimentos, y para reducir el riesgo de incendio.

El segundo paso consiste en el transporte seguro de plaguicidas. En esta etapa se debe prevenir los derrames accidentales debido al daño del embalaje por objetos punzantes o por los rayos del sol. Además se debe evitar el contacto con niños, animales y alimentos, y reducir el riesgo de incendio durante el transporte (Mejía et al., 2015).

El tercer paso es el almacenamiento de plaguicidas. Si esto no se hace correctamente en una habitación separada, cerrada y ventilada que no esté sujeta a inundaciones, puede exponer aún más al usuario, a su familia y al medio ambiente. En efecto, si los productos se almacenan en el hogar, la familia puede estar expuesta a los plaguicidas a través de la inhalación de los vapores de plaguicidas, pero también a través de la piel si toca frascos contaminados con plaguicidas o si los frascos están mal cerrados, o por ingestión accidental o deliberada (suicidio) (Mejía et al., 2015; Quinteros & López, 2019).

La cuarta etapa es la preparación y mezcla. En esta etapa, tanto el medio ambiente y los seres humanos están expuestos a los plaguicidas. Este problema se agrava ya que en esta etapa se está expuesto a las sustancias concentradas. La exposición a los vapores de los productos concentrados y el vertido accidental sobre la piel, así como al riesgo de salpicaduras durante la fase de mezcla del producto con el gran volumen de agua, representan solo algunos de los peligros a los que se está expuesto. El número de veces que el operador tiene que recargar la bomba rociadora de mochila, la presencia de varias sustancias activas y adyuvantes, las concentraciones de los productos de la mezcla y el

uso de equipos de protección son variables que deben tenerse en cuenta en esta fase (Mejía et al., 2015).

El quinto paso (aplicación del plaguicida) es el más delicado ya que en este se libera el plaguicida al ambiente. La exposición del trabajador depende del equipo de protección, de las horas de exposición diarias, del número de días de aplicación al año, de las condiciones climáticas y de la calibración del equipo utilizado. Las condiciones de limpieza del equipo de pulverización y del equipo de protección después de su uso también son elementos que deben tenerse en cuenta en la exposición (Mejía et al., 2015).

El paso final consiste en la eliminación de desechos (envases) y remanentes (plaguicida sobrante) de los plaguicidas. La exposición potencial se da principalmente en la reutilización de envases de plaguicidas para el transporte de agua, almacenamiento de alimentos y en la inadecuada disposición de los desechos y remanentes. Generalmente los desechos son dispuestos al aire libre en el lugar de aplicación sin un previo tratamiento. Antes de desechar los envases, estos se deben lavar para remover los residuos de plaguicidas y se deben cortar o perforar para evitar que otras personas los reutilicen, finalmente se deben disponer en un contenedor especial para su posterior recolección. En cuanto a los remanentes, estos se deben desechar aplicándolos en predios baldíos aledaños o en cúmulos de maleza en terrenos próximos (Mejía et al., 2015). Todos estos métodos para minimizar el riesgo de los pesticidas usualmente no se siguen en El Salvador.

La exposición no ocupacional a los plaguicidas es multifactorial e incluye la exposición profesional, las derivas del lugar de aplicación, el uso residencial e ingestión (Deziel et al., 2015). La exposición alimentaria (por ingestión) se caracteriza por el consumo de agua y alimentos contaminados con plaguicidas y sus productos de degradación (OCSPP US EPA, 2015b). La exposición no ocupacional también incluye la exposición asociada con lugares frecuentes y potencialmente contaminados dentro y fuera del hogar (Damalas & Eleftherohorinos, 2011). De hecho, la población puede estar expuesta por inhalación o contacto a concentraciones significativas para su salud en sus hogares debido al uso doméstico de ciertos biocidas, la entrada de equipo o ropa contaminados y la inhalación de polvo contaminado

(Deziel et al., 2015; Whitemore et al., 1994). Fuera del hogar, la población puede estar expuesta a los plaguicidas debido a la deriva de estos. Esta exposición se puede dar a través del polvo arrastrado por el viento y por el contacto con el suelo contaminado (bystander) (Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

Teniendo en cuenta estos aspectos teóricos, los objetivos de este capítulo son:

1. Caracterizar la exposición de los trabajadores de la caña de azúcar a los productos químicos y otras sustancias nocivas;
2. Determinar las condiciones de trabajo y la distribución de responsabilidades en los cañales;
3. Caracterizar la exposición de las comunidades que viven alrededor de los campos a los productos químicos y otras sustancias nocivas emitidas durante el ciclo de cultivo de la caña de azúcar.

5.2 Metodología

5.2.1 Encuestas con entrevistas

El análisis del contexto sensible al conflicto que se examinó en el capítulo anterior reveló que las tensiones entre las comunidades y los agentes de la industria azucarera son muy elevadas. Como algunos líderes comunitarios ya están amenazados de muerte como resultado de su trabajo por la defensa y lucha por sus derechos, los actores comunitarios decidieron que la recopilación de información de los trabajadores de la caña de azúcar y las comunidades vecinas se haría mediante entrevistas privadas directamente en el hogar del entrevistado.

Se realizaron encuestas de entrevista entre tres trabajadores de la caña de azúcar (Damien*, Eleonor*, Maximus*), un ingeniero agrónomo cañero (Carlos*), una líderesa (Pascal*), tres mujeres (Osa*, Aline*, Berta*) con niños y niñas que viven alrededor de los campos para caracterizar la exposición a los plaguicidas. Los alias fueron dados a cada entrevistado y aparecen con un nombre seguido de una estrella (*).

Las entrevistas realizadas en este trabajo permitieron profundizar en el problema para incluir la organización del trabajo en los campos y las diversas responsabilidades, identificar los obstáculos y oportunidades para mejorar las prácticas y contextualizar socialmente a los trabajadores. Se elaboró una guía de entrevista específica para el tipo de actor entrevistado, que consistía principalmente en preguntas abiertas que incluían una presentación personal, el ciclo de producción, la organización del trabajo de campo, el trabajo con los productos y la compensación proporcionada por la empresa. Las entrevistas se realizaron en las comunidades El Castaño, El Chino, El Palmo, El Porvenir, Rancho San Marcos, San Marcos Cañales y Santa Teresa (municipalidad de San Francisco Menéndez, Ahuachapán). Las entrevistas se grabaron con el consentimiento del entrevistado. Durante la transcripción de las entrevistas, no se incluyó ninguna información o testimonio que pudiera permitir la identificación de la persona y, por tanto, comprometer su lugar de trabajo o su integridad física.

Mediante la recopilación y el cruce de la información obtenida a través de las 8 encuestas de entrevistas, se estableció un programa de exposición de los trabajadores de la caña de azúcar (exposición ocupacional) y de las comunidades circundantes (exposición no ocupacional). Las retranscripciones de las entrevistas son disponibles en I.A. 3 (Información Adicional 3.).

5.3 Resultados

5.3.1 Exposición de los trabajadores y trabajadoras a plaguicidas y otras sustancias nocivas en los cultivos de azúcar

Es posible distinguir tres fases principales en las que se puede caracterizar la exposición para diferentes grupos de exposición (Tabla 10). La primera fase de exposición a los plaguicidas se produce de noviembre a enero, cuando se prepara el suelo de un cultivo existente para el nuevo ciclo de crecimiento o para plantar un nuevo cultivo (cada 5 a 12 años) (Carlos*, 2019; Maximus*, 2019). En este momento se aplican fertilizantes, herbicidas de pre-emergencia y ciertos

productos con una doble acción insecticida y fungicida (Carlos*, 2019). Los fertilizantes y el producto fungicida/insecticida se distribuyen en forma sólida en el surco del cultivo (Carlos*, 2019; Pascal*, 2019). Según la zona, se contrata a un grupo de mujeres para realizar este trabajo con una bolsa de fertilizante colgada en la espalda y una bolsa que contiene el biocida colgado en la cintura. Luego distribuyen estos dos productos con sus propias manos. El herbicida de pre-emergencia se aplica entonces directamente al suelo por medio de un rociador manual (Carlos*, 2019).

La segunda fase de exposición tiene lugar durante toda la etapa de mantenimiento del cultivo, que suele comenzar a finales de mayo o principios de junio hasta agosto (Carlos*, 2019; Damien*, 2019; Eleonor*, 2019). Un equipo de unas diez personas, generalmente incluyendo un cuarto de mujeres, es reclutado por un jefe de cuadrilla (caporal) por un período de 3 meses, 6 días a la semana, 4 a 6 horas al día (Carlos*, 2019; Damien*, 2019; Eleonor*, 2019). Antes de comenzar a trabajar en los campos, operadoras/es no se someten a un examen médico y no reciben capacitación ni equipo de protección personal. En la jornada laboral, van vestidos con botas, pantalones, camisa larga de algodón

y una gorra (Figura 24) (Damien*, 2019; Eleonor*, 2019).

Si el propietario ha contratado asistencia técnica para el ingenio, un ingeniero agrónomo le proporcionará los productos, calculará las tasas a aplicar y demostrará la calibración de una bomba rociadora de mochila (Carlos*, 2019). Si el propietario no llama a la asistencia técnica, entonces el caporal organiza los productos y las dosis a aplicar según sus hábitos (Carlos*, 2019). Cuando un ingeniero está presente, las bombas de mochila para dos personas se calibran para evitar el uso excesivo del producto en el campo (Carlos*, 2019). De hecho, a las/os operador/ases se les paga por la tarea, tienen que rociar un barril de 250 litros que contiene una mezcla de hasta 5 productos diferentes en 1 a 1,5 manzanas y reciben 6 dólares a cambio (Damien*, 2019; Eleonor*, 2019). Algunas/os operadoras/es modifican entonces la boquilla de la bomba rociadora de mochila para que se aplique más de la mezcla en menos tiempo (Carlos, 2019). Según un ingeniero que ha hecho este trabajo, después de la demostración de calibración, el capataz y sus trabajadores son libres de hacer lo que quieran (Carlos*, 2019). Es decir, que sociológicamente, ni quienes trabajan ni el caporal están dispuestos a recibir recomendaciones de un ingeniero sobre el trabajo

Tabla 10 Calendario de exposición a los plaguicidas y otras sustancias nocivas en relación con el ciclo de producción de la caña de azúcar.

	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT
Cosecha o zafra												
Madurantes	x	x	x	x	x						x	x
Quemas de cañales	x	x	x	x	x						x	x
Preparación y mantenimiento de los cultivos												
Herbicidas Preemergencia	x	x	x					x				
Herbicidas Post-emergencia								x	x	x		
Fertilizantes	x		x					x				
Insecticidas						x		x	x	x		
Fungicidas	x	x	x					x	x	x		
Rodenticidas				(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	(x)	



Figura 24 Equipo de protección y fumigación (bomba rociadora de mochila) utilizado en los cañales constituidos de botas, pantalones, camisa larga de algodón y una gorra.

que han estado haciendo durante mucho tiempo a su manera (Carlos*, 2019).

La tercera fase de exposición a los plaguicidas y otras sustancias, como las partículas finas, tiene lugar durante la fase de zafra. La cosecha o zafra tiene lugar desde finales de noviembre hasta abril, dependiendo de la variedad cosechada (variedades tempranas, medianas y tardías) (Carlos*, 2019). Los ingenieros del ingenio azucarero visitan a los dueños de cañales para tomar muestras de caña de azúcar para medir diferentes parámetros como el contenido y la fracción de sacarosa (Grado Brix) (Carlos*, 2019). Dependiendo del contenido de azúcar, la fábrica da la orden de iniciar el proceso de cosecha. Las plantas de refinación promueven o requieren el uso de agentes maduradores de 4 a 7 semanas antes de la cosecha para aumentar el contenido de azúcar de la caña y facilitar el trabajo de los cortadores (Carlos*, 2019; Maximus*, 2019). Los propietarios no siempre son partidarios de utilizar productos de maduración, ya que puede hacerles perder fácilmente el 20% de su cosecha y reducir el tiempo de funcionamiento de la plantación. Debido al tamaño de las cañas, la aplicación de los agentes de maduración sólo puede hacerse por aire (Carlos*, 2019).

La fumigación de los campos de caña de azúcar por avión o helicóptero tiene lugar en las primeras horas de la mañana entre las 5 y las 8 de la mañana cuando no hay brisa (Carlos*, 2019). Durante este proceso, se necesitan 5 personas en el suelo para marcar las filas del campo con una bandera (banderilleros) de varios metros de altura (ver Figura 25) para orientar la aplicación de los agentes de curado para las aeronaves. En este proceso, el personal de tierra es literalmente rociado de la cabeza a los pies a través de toda la superficie de sus cuerpos en contacto con la mezcla de rociado (Carlos*, 2019; Eleonor*, 2019; Pascal*, 2019). Cuando se pulverizan agentes de curado, los trabajadores no llevan máscaras de protección química. Se estima que la absorción vía de exposición no sólo es a través de la piel sino también por inhalación, ya que los trabajadores de plaguicidas a través de los pulmones, sin ninguna prueba en contrario, es del 100% del aerosol inhalado, es decir, se estima que es 10 veces mayor que la absorción dérmica (WHO, 2010a). La mezcla contiene principalmente un herbicida con el ingrediente activo glifosato con el potencial regulador de crecimiento trinexapac-etil y, de ser necesario, el inhibidor de la floración ethefon (Medardo & Molina, 2016).



Figura 25 Campos de caña de azúcar. La bandera de aproximadamente 4 m de altura en el centro del campo se utiliza para la orientación de los planos que aplican los agentes de maduración. Los campos se queman después de 4 a 7 semanas de la aplicación de los agentes de maduración.

Desde hace un año, empresas especializadas como Drontek® ofrecen el servicio de los drones para el tratamiento de los campos mediante agentes de maduración. (Carlos*, 2019; Maximus*, 2019). En 2018, el uso de los vehículos aéreos no tripulados se limitará a El Salvador en los campos de caña de azúcar (Dinero, 2018). Actualmente, alrededor del 30% de los cultivos de caña de azúcar son tratados por drones (Dinero, 2018). Por el momento, sólo los propietarios ricos pueden usar esta tecnología que consume menos plaguicidas

y agua (Carlos, 2019). Según las entrevistas realizadas en las 7 comunidades de la subcuenca del río Paz, la gran mayoría de los campos siguen siendo tratados por avión (Aline*, 2019; Damien*, 2019; Eleonor*, 2019; Maximus*, 2019; Pascal*, 2019).

Tras la aplicación aérea de los agentes de maduración, los campos se queman para deshacerse de las hojas irritantes y facilitar el corte al día siguiente. Los bastones cortados se llevan a la refinería (Figura 26).

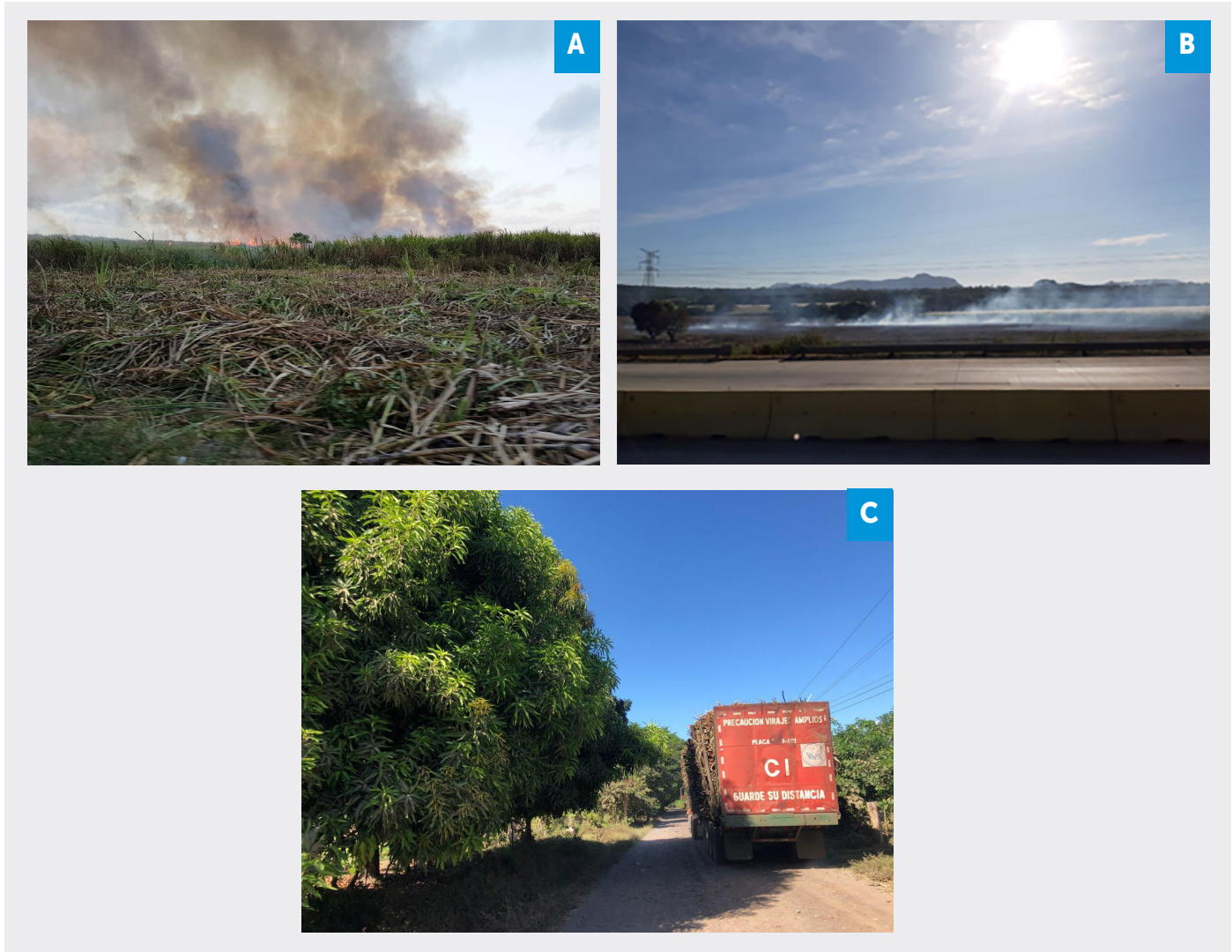


Figura 26 A. El fuego se prende en los campos de caña de azúcar al final de la tarde, el día antes de la cosecha. B. Campos de caña de azúcar después de la calcinación. C. Transporte de la caña de azúcar bruto al ingenio.

5.3.2 Distribución de responsabilidades y condiciones de trabajo, impactos inducidos sobre las mujeres de las comunidades

El presente subcapítulo no pretende ser exhaustivo, sino que se refiere únicamente a ciertos aspectos sociales y organizativos que pueden contribuir a la comprensión de los obstáculos para cambiar determinadas prácticas en la aplicación de pesticidas.

En las comunidades donde se realizaron las encuestas y entrevistas, el trabajo en los campos de caña de azúcar es casi la única fuente de trabajo remunerado (Aline*, 2019; Berta*, 2019; Damien*, 2019; Eleonor*, 2019; Maximus*, 2019; Osa*, 2019). La organización del

cultivo de la caña de azúcar implica diferentes puestos de trabajo y responsabilidades. Las comunidades participan en dos tareas principales que incluyen el mantenimiento de los cultivos y la zafra. Por lo general, un grupo diferente de trabajadores participan en el corte y la cosecha de la caña de azúcar. Según la información recogida durante las entrevistas, las diferentes funciones y responsabilidades en los cultivos de caña de azúcar son las siguientes:

1. Ingenio azucarero

Planta de refinación: Las plantas de refinación coordinan con los propietarios de los cultivos el momento de

corte y cosecha de la caña de azúcar (Carlos*, 2019). Para ello, envían a sus propios ingenieros agrónomos a las diferentes zonas de cultivo del país para tomar muestras de caña de azúcar (Carlos*, 2019). La caña de azúcar se analiza luego en el laboratorio del ingenio para determinar diversos parámetros (por ejemplo, niveles de grados Brix, porcentaje de fibra, pureza). Basándose en los resultados del análisis, el molino establece el calendario para la aplicación de los agentes de maduración y luego el corte de la caña (Carlos*, 2019). Los ingenieros se encargan de organizar las etapas de corte, cosecha, transporte y refinado de la caña de azúcar. Organizan el transporte de grupos de cortadores a las diferentes regiones productoras del país. Las fábricas se encargan de suministrar el equipo de corte (churumbas, cumas, lima, chimpinillera, mangas, sombrero, zapatos) y asistencia médica de emergencia (Berta*, 2019; Maximus*, 2019). En el caso de las grandes propiedades, la refinería también ofrece diversos servicios de asistencia técnica, como la aplicación de agentes de maduración mediante drones o la aplicación de plaguicidas y fertilizantes mediante bomba de mochila. A continuación, se envía a un ingeniero agrónomo con la gama de plaguicidas, calcula las dosis a aplicar y demuestra a los trabajadores la calibración de los instrumentos (Carlos*, 2019).

2. Dueño del cañal

Los propietarios de las parcelas de caña de azúcar son personas físicas y jurídicas como cooperativas y, según el caso, empresas que tienen derechos de propiedad. En el caso de que no sea la fábrica la que contrate a los empleados, el propietario del cultivo suele ser el jefe del personal que realiza el corte o la aplicación de los plaguicidas. Algunos propietarios de parcelas son accionistas de la planta de la refinería (Carlos*, 2019).

3. Mandador

Esta persona trabaja para el dueño de la parcela. Es el coordinador y responsable del cañal. Organiza los días de trabajo. Recluta al personal para llevar a cabo tareas como la aplicación de plaguicidas, la seguridad de las parcelas y el riego. Se encarga de remunerar a los empleados al finalizar la jornada laboral.

4. Caporal

Esta persona es el líder del equipo durante la ejecución de la obra. Es esta persona la que determina las tareas a realizar, registra las horas y evalúa la cantidad de trabajo realizado para proporcional el salario. Al aplicar los plaguicidas, es responsable de supervisar la preparación de la mezcla de plaguicidas en los barriles.

5. Cortador de caña de azúcar

Es la persona empleada por el propietario o por la fábrica para cortar y cosechar la caña de azúcar. Estas personas son reubicadas en todo el país para llevar a cabo la zafra.

6. Empleados agrícolas

Este personal realiza un trabajo no específico y se contrata en las comunidades que viven cerca de los campos para preparar el suelo, sembrar la caña, aplicar fertilizantes y plaguicidas y marcar las áreas para la fumigación aérea.

Trabajar como cortador es probablemente el trabajo más agotador física y psicológicamente.

"Alguien que no lo ha hecho antes no lo hace. Ahí es como que usted sea corralero, alguien lo busca y ya sabe que puede ordeñar. Pero que le digan: "Mire usted va a ir a ordeñar y nunca lo ha hecho, pero si no puede no puede" y la caña así es, porque ese bolado es matón. Porque no crea usted estar desde las 7 am que nosotros empezamos y hay veces saliendo hasta las 4-5 de la tarde."

Maximus* (2019) cortador de caña de azúcar.

"Dios mío, ¿será que aquí me voy a quedar?" decía él y todos dándole adelante, pero él quería ir a marcar el día, si no, no salía y dice que decía él va de temblar y de temblar, le agarraba tembladera y de tomar agua, así fue que le dijo un amigo "y usted, ¿se siente mal?", "sí" dijo que le dijo, lo vio pálido. "Chupe este dulce le dijo", y así

pasó 8 días en los que solo iba a marcar nada más por no quedarse en el campamento.”

Aline* (2019) esposa del cortador de caña de azúcar.

Según los testimonios recogidos (1 cortador y 3 esposas de cortadores de caña), los cortadores de caña son empleados por un ingenio azucarero o empleados por el propietario a través del mandador. Algunos cortadores de caña de azúcar firman un contrato con el ingenio por la duración de la zafra porque el trabajo implica muchos riesgos.

“Se dan en el pie, se cortan el pie, se dan en la mano, se vuelan una mano, porque varias veces, por ejemplo, el año pasado, mi esposo me vino contando que hubo un muchacho que quedo cuto del pie, entonces es un riesgo que corren.”

Osa* (2019) esposa del cortador de caña de azúcar.

Los cortadores de caña de azúcar que trabajaban directamente para el propietario del cultivo no retrasaron la firma de los contratos (Aline*, 2019; Maximus*, 2019). El cortador de caña de azúcar funciona durante toda la temporada de zafra, es decir, durante 6 meses. Se les paga por tarea (tonelada o superficie cosechada) o por día de trabajo.

Según los entrevistados, ganan entre 6 y 9 dólares al día dependiendo de si los propietarios respetan o no el acuerdo de trabajo (Berta*, 2019; Maximus*, 2019). Los trabajadores pueden ganar 20 dólares al día en condiciones óptimas y en teoría hasta 30 dólares. En todos los casos recopilados, los días laborables empiezan entre las 3:30 y 4:30 de la mañana y terminan entre las 7 y 8 de la noche (Aline*, 2019; Berta*, 2019; Maximus*, 2019). Los trabajadores usan ciertos medicamentos o ingredientes activos para el dolor y la energía (Aline*, 2019). Los grupos de cortadores de caña de azúcar se trasladan a diferentes zonas del país para trabajar. Algunos regresan por la noche después de un día de trabajo y otros viven en áreas cercanas a los campos (Aline*, 2019; Maximus*, 2019). Los trabajadores duermen en campamentos donde pagan

por el alojamiento, la comida y la lavandería. Las esposas de los trabajadores informan que sus maridos no comen lo suficiente, entre otras cosas porque algunos químicos (lodo) se añaden a la comida a expensas de los trabajadores (Aline*, 2019; Berta*, 2019; Osa*, 2019). Durante los seis meses de la cosecha, tienen 24 horas libres cada 20 días para ver a sus familias (Aline*, 2019; Berta*, 2019; Osa*, 2019).

“Vienen a los 21 y 22 días, por ejemplo, ya vienen muy tarde el 22, Pasan el 23 y ya el 24 ya van, o sea un día descansa cada mes”...“si ellos así vienen ve, como la comida no les cae bien, vienen bien delgaditos. No, si ese trabajo es muy duro para ellos.”

Berta* (2019) esposa del cortador de caña de azúcar.

“Es duro porque mi niña así se queda llorando por 2 horas, si se siente feo cuando se van para allá. Pero cuando viene ya traen dinero y uno dice que vamos a comprar las cosas que a uno le hacen falta. Bueno, en el caso mío, a veces no hay dinero, a veces se presta dinero para pasar los días que ellos se van para allá ya que, para pagar luz, agua, cable, y cosas que uno tiene que pagar por ley, prácticamente la primera paga solo sirve para cancelar deudas.”

Aline* (2019) esposa del cortador de caña de azúcar.

El empleador se queda con 4 días de salario de los 20 para que los trabajadores vuelvan a trabajar (Osa*, 2019).

“Entrevistador: Entonces hay personas que no quieren regresar al trabajo, porque el trabajo es muy pesado.

Osa: Sí, el trabajo es matador.”

Osa* (2019) esposa del cortador de caña de azúcar.

Los empleados agrícolas que aplican los plaguicidas son contratados por el mandador del propietario del

cañal de forma oral. A diferencia de los cortadores, los aplicadores de plaguicidas suelen ser personas de las comunidades adyacentes a los cañales (Damien*, 2019; Eleonor*, 2019). Trabajan 12 semanas al año en este trabajo y 6 días a la semana. El mandador les paga por tarea para que apliquen un barril de plaguicidas por el equivalente a 6 dólares (Eleonor*, 2019). Las mujeres también hacen este trabajo y a veces están embarazadas porque muchas mujeres tienen que mantener a sus familias solas o el salario del marido no es suficiente (Damien*, 2019; Eleonor*, 2019). En las comunidades entrevistadas, el trabajo de aplicación de plaguicidas es la única fuente de trabajo, incluso para los jóvenes (Damien*, 2019). Los trabajadores no conocen los efectos de los productos que aplican, no están capacitados y algunos son analfabetos (Damien*, 2019; Eleonor*, 2019). Cuando el propietario ofrece equipo de protección, éste no se utiliza por razones climáticas y retrasa el ritmo de trabajo (Damien*, 2019; Eleonor*, 2019). Los entrevistados mencionaron que harían otro trabajo si hubiera otras oportunidades.

Los trabajadores no pueden hablar de sus condiciones de trabajo ni denunciar los abusos por miedo a perder sus empleos.

"Hay mucha necesidad porque \$6 es muy poquito. El sueldo que puso el gobierno es de \$7, pero como ellos son los que pagan, siguen pagando \$6, por eso es que la corrupción acá no se va a acabar."

Eleonor* (2019) colaboradora agrícola, aplicador de plaguicidas.

"Nosotros podemos hablar, pero ¿quién nos escucha? No hay ninguno. Nosotros podemos comentar que estos solo a matarnos vienen, pero eso queda en el aire. Un ejemplo: El salario. Cuando hicieron aquel aumento para el campesino y dijeron "si hablan, los vamos a echar", y como la gente siempre necesita, la boquita cerrada."

Eleonor* (2019) colaboradora agrícola, aplicador de plaguicidas.

Es decir, resulta evidente la dependencia que los trabajadores de la comunidad tienen de los propietarios

y de los ingenios azucareros, y que las condiciones de trabajo hacen que los cortadores de caña de azúcar y los aplicadores de plaguicidas pongan en peligro su salud física para atender a corto plazo las necesidades básicas de sus familias.

Cabe destacar como elemento adicional de análisis, que esta distribución de responsabilidades y condiciones laborales, responde en gran medida a la división sexual del trabajo, en la que al hombre se le atribuyen los espacios públicos para su desempeño y a las mujeres se les limita al espacio privado (hogar y tareas domésticas). De igual manera, dicha distribución tiene impactos diferenciados en la salud de mujeres y hombres. En algunos casos, las afectaciones obedecen a las características fisiológicas propias de las mujeres mientras que, en otros casos, las afectaciones derivan del nivel de exposición que presentan al realizar parte de las actividades vinculadas al trabajo reproductivo. Las mujeres que viven en zonas agrícolas se ven afectadas de manera diferente que los hombres debido a factores fisiológicos y de exposición. En efecto, los plaguicidas generan diferentes riesgos para la mujer por sus repercusiones en el ciclo hormonal, la toxicidad reproductiva (por ejemplo, la infertilidad), la toxicidad prenatal (muerte del feto, malformaciones, etc.) y postnatal (lactancia), los cánceres (cáncer de mama), etc. (Bretveld et al., 2006; Cohen, 2007; García, 2003; Watts, 2013).

Además de la exposición ocupacional, las mujeres también están expuestas a través de los lugares que frecuentan y las actividades domésticas de las que suelen ser responsables. La exposición se produce a través de la deriva directa de los plaguicidas aplicados cerca del hogar (Ames et al., 1993). Las mujeres también están expuestas durante la limpieza de las casas al polvo contaminado por los plaguicidas transportado por el viento, la limpieza de la ropa de trabajo contaminada, el contacto con mascotas contaminadas (Deziel et al., 2015). Además, las mujeres son las responsables de llevar la alimentación a quienes se encuentran trabajando en los cañales, exponiéndose a los plaguicidas sin ningún tipo de protección al momento de ingresar en el terreno para entregar la comida. Las mujeres, como todos los demás miembros de la familia, también están expuestas a través de la ingestión de alimentos y agua contaminados (Damalas & Eleftherohorinos, 2011).

Similar sucede con la niñez, que también se ve afectada de manera diferente a las personas adultas. Desde la etapa prenatal hasta la adolescencia, los Brevelds son más sensibles biológicamente a la toxicidad de los plaguicidas debido a su fisiología (masa corporal, superficie de la piel), su metabolismo (absorción gastrointestinal, tasa de ventilación más alta que los adultos) y al hecho de que sus sistemas nervioso, hormonal, respiratorio e inmunológico están todavía en desarrollo (Watts, 2013). Antes de nacer, los fetos ya están expuestos a los plaguicidas a través de la placenta. Después del nacimiento, los niños están expuestos a través de la leche materna, trabajando en los campos con plaguicidas, en la escuela, en los parques, en el hogar y por ingestión accidental (Watts, 2013; WHO, 2004).

Es necesario agregar que la precariedad laboral tiene un impacto indirecto en la persona responsable del hogar, que en su mayoría son mujeres, ya que se les asignan las tareas de del trabajo reproductivo -no remunerado- (cuidado, crianza de los hijos y gestión económica del hogar) durante la ausencia de su pareja. Además, asumen las tareas de cuidado con sus parejas cuando estos presentan problemas de salud que las mismas condiciones de trabajo les han provocado. Asimismo, debido a la situación de vulnerabilidad económica de la familia, las mujeres deben buscar actividades económicas que sean remuneradas para complementar el ingreso familiar, lo que para ellas implica una doble e incluso una triple jornada laboral, comprometiendo muchas veces su salud al involucrarse en el trabajo de rociar los plaguicidas o cortar la caña.

A los aplicadores de plaguicidas se les paga por el trabajo; esto amplifica la aplicación excesiva de plaguicidas y no fomenta el uso de equipos de protección que reducen la velocidad del trabajo.

Los propietarios de los cultivos tampoco responden a los problemas de salud desarrollados durante la actividad laboral de los trabajadores (Damien*, 2019; Eleonor*, 2019; Maximus*, 2019) o por daños en los cultivos de la comunidad durante la aplicación aérea (Aline*, 2019; Berta*, 2019; Osa*, 2019). Esa relación

de poder excluye toda posible negociación con su empleador para mejorar esas condiciones.

Según los casos reportados y la definición del Código de Trabajo de El Salvador (art. 17)⁹, el empleador es el propietario del cultivo (una persona física o jurídica como una empresa) o el ingenio. En el caso de las personas que aplican plaguicidas, el empleador que se informó en estas encuestas era el propietario del cultivo. En este caso, el propietario del cultivo tiene la obligación legal de: *“Proporcionar al trabajador los materiales necesarios para el trabajo; así como las herramientas y útiles adecuados para el desempeño de las labores, cuando no se haya convenido que el trabajador proporcione estos últimos”* (artículo 29d). Según la Guía de Buenas Prácticas Agrícolas p.58 (Medardo & Molina, 2016), es una obligación legal: *“Registro de entrega y devolución de EPP”* (Equipo de protección personal), *“Evidencia visual de uso de EPP por los trabajadores y del estado de los EPP”*, *“Entrevista con trabajadores que demuestre conocimiento práctico del uso apropiado de EPP”*, *“Registro de capacitación de trabajadores sobre uso de EPP, almacenamiento de plaguicidas y otros insumos agrícolas, uso seguro de plaguicidas y disposición de envases”*.

5.3.3 Exposición a plaguicidas y otras sustancias nocivas de las poblaciones adyacentes a los campos de cultivos de azúcar

En esta investigación dirigida por la UNES, se realizó levantamiento de información mediante entrevistas a cuatro madres de familia (Osa*, Aline*, Berta* y Pascal*) que viven en las comunidades vecinas para caracterizar la exposición por cercanía (“by-standers”).

Las poblaciones que rodean los cultivos de caña de azúcar (Figura 27) también se ven afectadas por las prácticas agrícolas durante las tres fases principales consideradas en los capítulos anteriores. En efecto, algunas comunidades están situadas en medio de los campos de caña de azúcar y algunas de las viviendas están situadas a menos de 15 metros de los cultivos o dentro del ancho de un camino.

⁹ “Quien presta el servicio o ejecuta la obra se denomina trabajador; quien lo recibe y remunera, patrono o empleador”



Figura 27 Las familias de esta comunidad tienen sus casas entre la carretera por donde pasan los camiones durante la zafra y colindan con los cañales.

Como ya se ha mencionado, durante la preparación del suelo al principio de la temporada, después de la fertilización, se aplican herbicidas de preemergencia en el suelo desnudo (noviembre-enero). Una vez que las plántulas han emergido al comienzo de la temporada de lluvias (principios de junio), se aplican herbicidas e insecticidas sistémicos (por ejemplo, imidacloprid, lambda cihalotrin) para controlar el pulgón amarillo de la caña. Las casas vecinas reportan un fuerte olor después de la aplicación. Esto sugiere una exposición pulmonar durante unas pocas horas después de la aplicación para los hogares en las cercanías de los cultivos. Según los casos entrevistados en este estudio, son las personas de las comunidades las que se contratan para aplicar los plaguicidas. Sin embargo, después de la aplicación, la ropa contaminada con el plaguicida se mezcla con la ropa del resto de la casa y se limpian juntas. Las personas que limpian la ropa, a menudo mujeres, entran en contacto con los residuos de plaguicidas.

Durante la época de la zafra, las cuatro mujeres entrevistadas informaron del paso de aviones que

rociaban agentes de maduración en los cañales. Esta operación se llevó a cabo por la mañana alrededor de las 8 a.m. y duró dos horas. Se informó de que los aerosoles son respirados en la aldea por los hombres, mujeres y niños que están en la escuela en ese momento. No se toman medidas para alertar a los habitantes con antelación y los habitantes continúan sus actividades habituales sin refugiarse en una habitación cerrada o fuera de estas nubes de aerosol. Se han notificado algunos casos de envenenamiento agudo de niños rociados accidentalmente por aviones. En muchas ocasiones, esta práctica incide incluso en el ciclo escolar de las/os estudiantes, ya que por las diferentes reacciones alérgicas en la piel y respiratorias que genera el contacto y exposición a estos agentes de maduración, los centros educativos se ven obligados a suspender clases y enviar al estudiantado de regreso a sus casas.

Además de la exposición por inhalación y por vía dérmica, existe una alta probabilidad de que los habitantes de las aldeas estén también expuestos por

la ingestión de alimentos y agua contaminados. De hecho, se han notificado los mismos daños a los cultivos alimentarios (por ejemplo, chiles, ayotes, papayas) que ya se informaron en el capítulo 4.3 por la deriva de los plaguicidas aplicados por vía aérea. Dado que los aldeanos dependen de estos cultivos como fuente de alimentos, pueden estar expuestos a estos plaguicidas cuando los consumen. Así lo confirma el ingeniero agrónomo entrevistado, que confirma que todos los cultivos situados a unos 200 m de las zonas tratadas también son rociados por los agentes maduradores. La distancia de deriva depende de una multitud de factores como las condiciones meteorológicas, la mezcla de plaguicidas utilizada, el equipo de pulverización y las prácticas. Puede ser mayor de 1,600 m en caso de inversión de la temperatura (Fishel & Ferrell, 2019). El agua de los pozos utilizados por los hogares de las comunidades que viven cerca de los cultivos de caña de azúcar (El Chino, San Marcos Cañales) proviene de los acuíferos superficiales. De hecho, las mediciones realizadas en cuatro pozos de estas comunidades han demostrado que los acuíferos se encuentran entre 2.9 y 5.9 m de la superficie. Estos acuíferos son porosos y están compuestos de arena y otros materiales de erosión gruesa. Estos materiales producen una infiltración de agua de la superficie al acuífero alta pero tienen una baja capacidad de filtración o retención de químicos en el agua de infiltración, y, por lo tanto, son muy susceptibles de contaminación (MARN, 2013b).

No obstante, se dispone de muy pocos datos sobre la contaminación por plaguicidas del agua y los alimentos que consumen las comunidades. La campaña de medición realizada en el marco del Plan Nacional de Manejo Integral de los Recursos Hídricos de El Salvador en 2015 no midió los plaguicidas en las aguas subterráneas (MARN, 2017b). En junio de 2014 se realizó una campaña de medición de paraquat en 13 pozos artesanales de las comunidades de Las Brisas en la ciudad de San Miguel (A. López et al., 2015). Las concentraciones medidas oscilaron entre el límite de detección del método analítico utilizado (0.62 mg/L) y 8.89 mg/L (A. López et al., 2015). Por lo menos 7 de los 13 pozos tenían concentraciones de 4 a 28 veces superiores a las normas salvadoreñas para el agua potable (A. López et al., 2015). El método analítico no fue lo suficientemente preciso para juzgar el estado de contaminación de los 6 pozos restantes en vista del riesgo para la salud.

De 4 a 7 semanas después de la aplicación de los agentes de maduración, los cañales se queman por la tarde alrededor de las 5 pm para facilitar el día después de la cosecha (Figura 28) (Maximus*, 2019). El humo y las partículas finas producidas por la combustión entran entonces en las ventanas de las casas vecinas, haciendo que el hollín y las cenizas se depositen en las distintas habitaciones de la casa (Pascal*, 2019). Las partículas finas de menos de 10 μm (PM10) emitidas durante el proceso de combustión pueden entrar en los pulmones

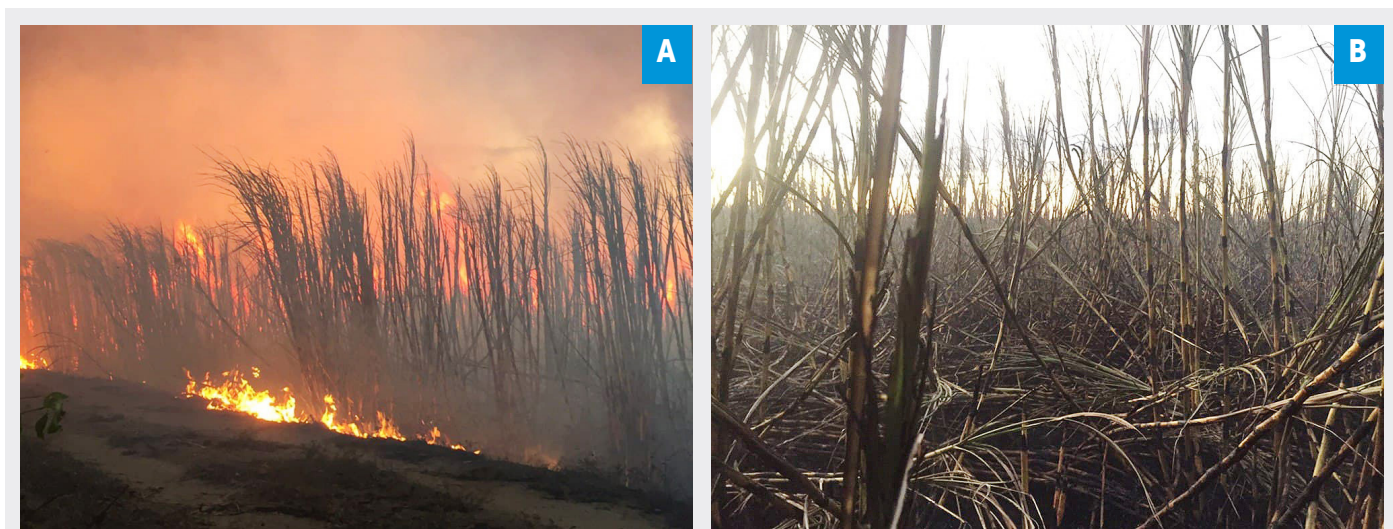


Figura 28 A. Quemar intencionalmente las parcelas de caña de azúcar la noche antes de la cosecha. B. Campos de azúcar de caña listos para la cosecha ©UNES.

e incluso en el torrente sanguíneo (OAR US EPA, 2016). Las partículas más peligrosas para la salud son las partículas finas de menos de 2,5 μm (PM_{2,5}) (OAR US EPA, 2016).

Se han realizado algunos estudios científicos sobre la exposición de los trabajadores y residentes a las partículas finas emitidas durante la quema de la caña. Le Blond et al. (2017) midió las concentraciones de PM₁₀ en el aire de las aldeas que rodean los campos antes, durante y después de la quema en Ecuador y Brasil. Estas mediciones mostraron un aumento de PM₁₀ de 18-37 ($\mu\text{g m}^{-3}$) antes de la quema a 1,807 ($\mu\text{g m}^{-3}$) durante la quema y 123 ($\mu\text{g m}^{-3}$) durante la tala en los pueblos alrededor de los campos (Le Blond et al., 2017). Las concentraciones de PM₁₀ durante el corte se deben a la resuspensión de partículas en el aire durante el trabajo. Cançado et al. (2006) monitoreó durante un año las partículas finas producidas por la quema de la caña de azúcar. El monitoreo se llevó a cabo en una ciudad de 250,000 habitantes en Brasil, que está rodeada en un 80% por plantaciones de caña de azúcar. En el caso de esta ciudad, la quema de plantaciones de caña de azúcar contribuye al 60% de la masa total de aerosoles. Durante el período de combustión, las concentraciones de PM₁₀ aumentan en promedio de 28.9 ($\mu\text{g m}^{-3}$) a 87.7 ($\mu\text{g m}^{-3}$) y las concentraciones de PM_{2,5} aumentan de 10.0 ($\mu\text{g m}^{-3}$) a 22.8 ($\mu\text{g m}^{-3}$) (Cançado et al., 2006). Estas cifras se dan a título indicativo porque las concentraciones de partículas finas que se encuentran en el aire dependen en gran medida de las condiciones climáticas y meteorológicas, como el viento, la temperatura y la humedad del aire ambiente. Por otro lado, son las partículas finas las que tienen un área superficial por gramo de material más alto, y por lo tanto tienen mayor afinidad para retener contaminantes. Es posible que parte de los contaminantes se quemen o evaporen durante el proceso de combustión. Sin embargo, también existe la posibilidad que una fracción de ellos se retenga en las partículas finas de la combustión. Más investigación en este problema se debería realizar.

5.4 Conclusión

La forma en que se practica el cultivo de la caña de azúcar en las comunidades visitadas es muy intensiva

en cuanto al uso del agua, el suelo, los fertilizantes y los plaguicidas. De hecho, como se ha visto en este capítulo, el ciclo de producción implica el uso de agroquímicos en las fases de preparación del suelo, manipulación de los cultivos y justo antes de la cosecha.

También se ha observado que los aldeanos contratados para fumigar los cañales no reciben la inducción y/o capacitación adecuada, el equipo de protección y el seguimiento médico necesarios para trabajar con fertilizantes y plaguicidas. Estas condiciones de trabajo son difíciles de cambiar porque los trabajadores están en una situación muy vulnerable frente al poder de los que los contratan. La forma en que se organiza y se paga su trabajo también hace imposible trabajar de manera que se garantice la salud de los trabajadores. El pago por tarea favorece el uso excesivo de los plaguicidas y conduce a comportamientos peligrosos al utilizar estos productos. También se ha informado de diversas violaciones de los derechos laborales y parece haber una laguna en los controles estatales sobre la observancia de los derechos laborales. Los derechos de los trabajadores no son respetados.

Dada la relación empleador-empleado en los cultivos de caña de azúcar, el empleador es responsable de proporcionar el equipo de protección adecuado y asegurar el cumplimiento de la Ley general de prevención de riesgos en los lugares de trabajo (ALRES, 2010) y las normas de seguridad ocupacional para el uso de agroquímicos (ISDEM, 2012). Estos marcos jurídicos incluyen las condiciones de empleo de las personas que utilizan plaguicidas y las normas de seguridad personal. Las normas relativas a las condiciones de empleo incluyen el examen médico, la prohibición de emplear a personal menor de 18 años, mujeres en edad de procrear, personas con retraso mental, personas físicamente enfermas (hígado, riñones, asma) y personas analfabetas que trabajen con estas sustancias (ISDEM, 2012). Los trabajadores también deben recibir capacitación en el uso seguro de los productos y el equipo de protección personal apropiado. El equipo debe ser adaptado según la peligrosidad de los productos utilizados. Según los productos utilizados por las/os operadoras/es en los cañales (por ejemplo, 2,4-D y glifosato), el empleador debe proporcionar durante la fumigación (anexo 2, p. 111, Medardo & Molina, 2016): guantes (Nitrilo, Butilo o Neopreno), mascarilla con filtro (tipo NIOSH R95 o

R100 más cartucho Vapores Orgánicos), botas de hule sin forro, traje de protección overol, gafas de seguridad.

El obstáculo para mejorar las prácticas está vinculado a las condiciones sociales y económicas de las personas que trabajan en los cultivos, que crean un vínculo de servidumbre con su empleador que impide la discusión y la denuncia. En vista de la organización jerárquica en los campos de caña de azúcar, el mandador debe comprobar la aplicación de las normas de empleo. En vista de la naturaleza operativa de la función del caporal, éste debería verificar la forma en que se aplican los plaguicidas y el cumplimiento de la dosis del fabricante. Según las instrucciones del jefe de equipo o del agrónomo, el trabajador debe calibrar correctamente su instrumento y llevar el EPI proporcionado por el empleador.

Los efectos de la aplicación de plaguicida, principalmente por aire, se sienten fuertemente en las comunidades que viven alrededor de los cañales.

Las mujeres y los niños se ven afectados por los plaguicidas de manera diferente que los hombres. Esto se debe a razones morfológicas, fisiológicas y también a cuestiones sociales relacionadas con la división sexual del trabajo, la asignación de los roles de género y la subsecuente distribución de las

tareas domésticas. En la actualidad existen muy pocos datos sobre la extensión de estas contaminaciones en el suelo, los ríos, el agua de los pozos y los alimentos producidos.

Las encuestas de las entrevistas muestran que no se respetan los diversos aspectos jurídicos de la aplicación aérea de plaguicidas que pueden poner en peligro la salud de los aldeanos. Se trata principalmente de violaciones del artículo 7, párrafos 12 y 18, del Decreto N° 423 instructivo de aplicaciones aéreas de insumo agrícola (MAG, 2011)¹⁰. De hecho, el párrafo 7 no se respeta porque los aviones pasan por encima de las casas liberando parte de la fumigación en casas y escuelas y no se respeta la distancia de seguridad de 300 m. Además, las parcelas de caña de azúcar están pegadas a las casas. También se ha informado muchas veces de la contaminación de plaguicidas en la producción de alimentos de los habitantes de las comunidades. El acuerdo 18 del MAG tampoco se respeta en el sentido de que no hay notificación de aplicación aérea 72 horas antes de la aplicación. Como consecuencia, las personas no toman las medidas necesarias para protegerse. Las horas de aplicación también pueden comprometer la salud de las/os niñas/os que van de camino a la escuela durante las horas de aplicación. Hay pruebas de que se ha rociado a niños.

¹⁰ "Las aeronaves agrícolas no deben efectuar riego de pesticidas sobre el espacio aéreo menor de trescientos metros de distancia de los lugares siguientes: ríos, lagos, lagunas, manantiales, esteros estanques, apiarios, establos, hospitales, escuelas, caseríos, poblados, lugares públicos, tiangues, rastros playas".

6

Exposición del sistema acuático y de los humedales



6.1 Introducción

Para caracterizar la exposición ambiental a las emisiones de plaguicidas en los cañales, es necesario vigilar sus concentraciones en los diferentes compartimentos ambientales. Como se ha visto anteriormente, los cañales son rociados con agroquímicos por lo menos tres veces al año, incluso durante la preparación del suelo, el mantenimiento de los cultivos y antes de la cosecha. Algunos plaguicidas se incorporan en forma sólida directamente en el suelo, otros se rocian con bomba de mochila o se fumigan por avión. El tipo de sustancia utilizada y la forma en que se aplica influyen en la probabilidad de que esas sustancias lleguen al sistema acuático y puedan causar efectos adversos.

Los objetivos de este capítulo son:

1. Recopilar datos sobre las concentraciones existentes de plaguicidas medidos en el medio ambiente en El Salvador.
2. Realizar una evaluación inicial de las concentraciones de plaguicidas en la zona de estudio.

Sobre la base de las concentraciones ambientales encontradas, se puede hacer entonces una evaluación inicial del riesgo ambiental (Capítulo 8).

6.2 Concentración ambiental en el medio estuario de El Salvador

Se recompilaron los datos sobre las concentraciones de plaguicidas medidos en los diferentes compartimentos ambientales de El Salvador en aguas de ríos y estuarios, sedimentos y diferentes organismos marinos. Los datos disponibles para poder consultar tienen no menos de 9 años de antigüedad, por esto se disponen principalmente de datos sobre los organoclorados y en menor medida organofosforados. Los datos principales provienen de los documentos titulados «Aldrin, BHC, DDT y Heptacloro en aguas superficiales y subterráneas de la zona algodонера» (Calderón, 1981), «Surface and Groundwater Contamination in selected Watersheds in Southwestern El Salvador» (Requena & Mayton, 1991), «Informe del estado del medio ambiente marino en el área Pacífico de El Salvador» (Rubio, 1994) y «Muestras de sedimentos de la plataforma costera de El Salvador libres de niveles significativos de plaguicidas» (Barraza, 2003).

Zona costera sur-occidental y sitio Ramsar Barra de Santiago

En lo concerniente a los humedales de la costa sur occidental, conformados fundamentalmente por: Barra de Santiago, Garita Palmera, San Juan, Metalío, Santa Rita, Zanjón El Chino y Bajo río Paz, se han realizado pocos estudios en la temática de plaguicidas y su impacto en el medio estuario/fluvial y manglares. Únicamente se

cuenta con la documentación de 2 estudios (Calderón, 1981; Requena & Mayton, 1991) en su mayoría haciendo referencia al humedal Barra de Santiago y algunas mediciones en ríos circundantes en algunos de las zonas geográficas mencionadas anteriormente. En este sentido nos referimos a Requena & Mayton (1991), que realizaron análisis de plaguicidas bipiridilos (paraquat), organoclorados (aldrin, α -BHC, γ -BHC, heptacloro y heptacloro epóxido, DDE; dieldrin, DDD, o,p'-DDT y p,p'-DDT), organofosforado (metamidofos, etil y metil paratión,) y triazinas (atrazina).

Realizaron mediciones en agua superficial de 7 ríos, incluido el río Aguachapío, río Cuilapa, río El Naranjo, río El Rosario, río Ezcanal, río Guayapa y río La Palma. También se realizaron mediciones de plaguicidas en sedimentos de Barra de Santiago y en tejidos de organismos acuáticos. Los organismos acuáticos analizados fueron peces (Mugil curema -"lisa", Arius guatemalensis -"bagre"), moluscos (Anadara tuberculosa -"curil") y crustáceos (Ucides occidentalis -"punche"), Callinectes sp -"jaiba").

Calderón, 1981 citado por Rubio (1994) ha realizó análisis de residuos en los ríos costeros de El Salvador. El único río analizado correspondiente al área de estudio es el Río de Cara Sucia.

En el cuadro que figura a continuación (Tabla 11), se presentan los resultados obtenidos por Calderón (1981) y Requena & Mayton (1991) para el análisis de los plaguicidas en las diferentes matrices ambientales:

Tabla 11 Concentraciones medidas de organoclorados y organofosforados en la zona costera sur-occidental y sitio Ramsar Barra de Santiago.

Lugar	Plaguicidas	Concentración	Referencia salud humana	Valor Guía	Referencia
Análisis en agua superficial ($\mu\text{g/L}$)					
Río Aguachapío	α -BHC	0.01	Requena & Mayton (1991)	2	(WHO, 2006)
Río Cuilapa	metamidofos	0.34	Requena & Mayton (1991)	a	(WHO, 2006)
	α -BHC	0.33	Requena & Mayton (1991)	2	(WHO, 2006)
Río de Cara Sucia valor medio agosto-enero (min. max)	γ -BHC	0.01	Requena & Mayton (1991)	2	(WHO, 2006)
	aldrin, dieldrin	140.33 (37-341)	Paz Calderón (1981)	0.03	(WHO, 2006)
	DDT	152.1 (56.07-105.33)	Paz Calderón (1981)	1	(WHO, 2006)
	Heptacloro y epóxido hep.	7.27 (0-10.8)	Paz Calderón (1981)	a	(WHO, 2006)
	α e γ -BHC	56 (19.2-127)	Paz Calderón (1981)	2	(WHO, 2006)

Lugar	Plaguicidas	Concentración	Referencia salud humana	Valor Guía	Referencia
Río El Naranjo	α-BHC	0.33	Requena & Mayton (1991)	2	(WHO, 2006)
Río El Rosario	α-BHC	0.07	Requena & Mayton (1991)	2	(WHO, 2006)
Río Ezcanal	α-BHC	0.01	Requena & Mayton (1991)	2	(WHO, 2006)
Río Guayapa (arriba-embarcadero)	α-BHC	arriba: 0.01 abajo: 0.01 embarcadero: 0.005	Requena & Mayton (1991)	2	(WHO, 2006)
Río La Palma	α-BHC	0.07	Requena & Mayton (1991)	2	(WHO, 2006)
Análisis en sedimento (µg/kg p.s.)					
Barra de Santiago	paraquat	34	Requena & Mayton (1991)	no aplica	
	α-BHC	0.5	Requena & Mayton (1991)	no aplica	
	DDE	0.7	Requena & Mayton (1991)	no aplica	
	dieldrin	53	Requena & Mayton (1991)	no aplica	
	DDD	0.06	Requena & Mayton (1991)	no aplica	
Análisis de peces (µg/kg p.s.)					
<i>Mugil sp "lisa"</i>					
Barra de Santiago	paraquat	40	Requena & Mayton (1991)	-	-
	DDE	30	Requena & Mayton (1991)	-	-
	o,p'-DDT	10	Requena & Mayton (1991)	-	-
<i>Bagre</i>					
Barra de Santiago	α-BHC	10	Requena & Mayton (1991)	-	-
	γ-BHC	30	Requena & Mayton (1991)	124	Ver capítulo 6.4.3 (US EPA, 2000)
	DDE	90	Requena & Mayton (1991)	-	-
Análisis de Moluscos (µg/kg p.s.)					
<i>Anadara sp "curil"</i>					
Barra de Santiago	α-BHC	10	Requena & Mayton (1991)	no existe	-
	γ-BHC	10	Requena & Mayton (1991)	124	Ver capítulo 6.4.3 (US EPA, 2000)
	heptacloro	10	Requena & Mayton (1991)	5.35	Ver capítulo 6.4.3 (US EPA, 2000)
	DDE	10	Requena & Mayton (1991)	-	-
Análisis de Crustaceos (µg/kg p.s.)					
<i>Ucides occidentalis "punche"</i>					
Barra de Santiago	α-BHC	500	Requena & Mayton (1991)	-	-
	DDE	10	Requena & Mayton (1991)	-	-
<i>Callinectes sp "jaiba"</i>					
Barra de Santiago	aldrin	10	Requena & Mayton (1991)	-	-

a Improbable en el agua potable

Requena & Mayton (1991) manifestaron que las altas concentraciones de metamidofos que fueron encontrados en algunas de las muestras de agua podría haber producido las altas mortalidades de camarones, peces y otra fauna asociada a esta región, reportadas por los pobladores del área. Así mismo, mencionan que las bajas concentraciones de plaguicidas encontradas en agua se debieron probablemente a que el período de muestreo no correspondió con las altas aplicaciones de plaguicidas.

De acuerdo a Paz Calderón (1981), todas las concentraciones medidas en el río de Cara Sucia sobrepasan los límites permisibles para solubilidad en aguas y toxicidad.

Lastimosamente, de los humedales principales que conforman las costa sur-occidental y que conforman El Sitio Ramsar Barra de Santiago (contenido por sistemas estuarinos, cursos fluviales, sistemas lagunares costeros y continentales como los son: Barra de Santiago, Garita Palmera, Bajo río Paz, San Juan, Metalío, Santa Rita y Zanjón El Chino) no existen estudios documentados aparte de los dos mencionados anteriormente. Estos dos estudios abarcan la poca información documental desde humedales del sur-occidente hasta el Golfo de Fonseca.

Área de Acajutla - Los Cóbano

Se reportan registros de plaguicidas para el área de Acajutla - Los Cóbano (Tabla 12), pero es importante recalcar que este informe Michel & Zengel (1998), abarca con mayor prioridad otros tóxicos derivados del derrame petrolero, que fueron analizados en busca

de hidrocarburos del petróleo, compuestos orgánicos clorados, plaguicidas y oligoelementos. La mayoría de las ostras analizadas contenían solo bajos niveles de HAP, a excepción de los recogidos muy cerca de un canal de descarga industrial que eran hasta 100 veces los niveles de fondo. Solo barro negro acumulado en el puerto principal contenía PAH en niveles de preocupación ambiental. Plaguicidas en ostras y sedimentos de grano fino estaban por debajo de los niveles de detección en la mayoría de las muestras. Los PCB también fueron bajos; los oligoelementos en los sedimentos y las ostras variaron ampliamente, lo que refleja diferencias en cargas y grado de biodisponibilidad. Zinc y cobre en ostras se elevaron a niveles normalmente considerados representativos de sitios moderadamente contaminados, mientras que arsénico, cadmio, cromo, plomo y níquel no fueron elevados en la mayoría de los sitios. Estos resultados fueron generalmente asociados con posibles fuentes de contaminación identificados mediante un cuestionario sobre almacenamiento de productos, manipulación y eliminación de desechos de las instalaciones que operan en la zona, la cual abarcó parte del sistema arrecifal de Los Cóbano.

El sistema es rodeado por diferentes cursos fluviales, siendo uno de los principales la desembocadura del río Sensunapán. Dentro de las estaciones directamente relacionadas con cursos fluviales se han tomado en cuenta la vinculación de Acajutla-Los Cóbano, el cual es una plataforma rocosa y un sistema de porciones arrecifales rocosos.

En dichas estaciones midieron plaguicidas organoclorados obteniendo los siguientes resultados de concentraciones por estación (Tabla 12):

Tabla 12 Concentración en los ríos de arriba del área de Acajutla - Los Cóbano

Lugar	Plaguicidas	Concentración	Valor Guía salud humana	Referencia
Análisis en agua superficial (µg/L)				
Río El Almendro	Total DDT	arriba: 260 abajo: 260	206	Ver capítulo 6.4.3 (US EPA, 2000)
Río Huiscoyol	Total DDT	arriba: 38 abajo: 18	206	Ver capítulo 6.4.3 (US EPA, 2000)

Aparte del estudio mencionado anteriormente, únicamente se registran datos puntuales en las aguas estuarinas de Barra Salada, que también constituye un sistema de manglares fragmentados, pero de gran importancia en la interacción arrecifal de Los Cóbano.

En el sistema de Barra Salada se detectaron concentraciones de metil-paratión de 0.01 y etil-paratión de 0.01 mg/kg en mediciones realizadas en los años 1986, 1988 y 1989 (Rubio 1994). En lo que constituye la costa acantilada de la cordillera del Bálsamo no se encontró ninguna documentación u artículo sobre plaguicidas asociados a cursos fluviales en ese tipo de sistema.

La planicie costera paracentral y oriental

La planicie costera paracentral y oriental se caracteriza por poseer las mayores extensiones de superficie de manglares y sistemas estuarinos (Jaltepeque y

Jiquilisco), fragmentos de pequeños humedales continentales, así como también de vegetación riparia típica de ecosistemas fluviales como el Bajo Lempa, río Grande de San Miguel y en menor medida el río Jiboa. Todos estos sectores en la década de los setenta fueron empleados por varias extensiones de cultivo de algodón.

En la época actual, todos estos sectores son sujetos del cultivo de caña de azúcar, conteniendo una amplia extensión de hectáreas. Como se percibe, lo único que se modifica de la realidad de estos humedales es la rotación de un cultivo por otro con los impactos subsecuentes entre un cultivo y otro. A pesar de la relevancia de los ecosistemas mencionados anteriormente, existen pocos estudios al respecto y algunos datos puntuales.

Rubio (1994) detectó compuestos organoclorinados en altas concentraciones en el río Jiboa, siendo mayores en la desembocadura de dicho río.

Domínguez & Paz (1985) citados por Rubio (1994), determinaron residuos de plaguicidas organofosforados

Tabla 13 El nivel de concentración medido en el Río Jiboa (Rubio, 1994).

Lugar	Plaguicidas	Concentración
Análisis en agua superficial (µg/L)		
Río Jiboa parte alta, media y desembocadura Valor medio agosto-enero (min. max)	α e γ-BHC	36.95 (0-96)
	aldrin, dieldrin	45.2 (24-101)
	DDT	110.1 (21.9-292)
	Heptacloro y epóxido hep.	13.6 (0-76)



y organoclorados en peces, crustáceos y moluscos en el estero de Jaltepeque. Los resultados se presentan en el cuadro siguiente (Tabla 14):

De todos los grupos de organismos estudiados, curiosamente la menor concentración o concentración

nula corresponde a la especie *Caranx sp* con 0.0 ppm de concentración del organofosforado Paradoxon y la mayor concentración se detectó para el organoclorado BHC 1.47 mg/kg p.s. justamente en el mismo género de pez mencionado anteriormente.

Tabla 14 Plaguicidas Organofosforados y organoclorados presentes en el Estero de Jaltepeque: (Tomado y adaptado Domínguez & Paz 1985).

Taxa	Plaguicidas	Concentraciones ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)	Comentarios
Análisis de peces ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)			
Arius sp	BHC	202.9	
	DDT-totales	89.0	
	Endrin-Aldrin	0.0	
	Heptacloro-Epoxido	141.8	
	Paradoxon	153.7	Arius sp "bagre" especie bentónica con frecuencia encontrada en fondos sedimentarios alimentándose.
Caranx sp	BHC	1470.0	
	DDT-totales	2302.0	
	Endrin-Aldrin	100.0	
	Heptacloro-Epoxido	0.0	
	Paradoxon	0.0	Caranx sp "jurel" especie con características pelágicas en su forma adulta, pre-adulto y juveniles entran a estuarios ocupando la columna del agua.
Pomadays sp	BHC	14.7	
	Endrin-Aldrin	105.2	
	Heptacloro-Epoxido	1249	
	Paradoxon	0.3667	Pomadays spp "ruco" especie epibentónica que por lo general ocupa la columna media del cuerpo de agua.
Análisis de crustáceos ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)			
Callinectes spp	Paradoxon	0	Callinectes sp "jaiba" organismo bentónico con relativos cortos desplazamientos, estadios larvales pre-adultos dependen al 100% del estuario.
Litopenaeus sp	Paradoxon	16.8	Litopenaeus sp "camarón" especie epibentónica de movilidad moderada dentro de estuarios. Formas larvares, juveniles y pre-adultos dentro del estuario, los adultos migran a mar abierto.
Análisis de moluscos ($\mu\text{g}/\text{kg p.s.}$)			
Anadara sp	DDT-totales	16.7	
	Endrin-aldrin	3	
	Heptacloro-Epoxido	1012.2	
	Paradoxon	122.2	Anadara sp "curil" organismos bentónicos de fondos fangosos enteramente sesil. 100% de su ciclo de vida depende de la interacción estuario/manglar. Organismo ideal para estudios de detección de plaguicidas y metales pesados.

Después le sigue el compuesto organoclorado heptacloro-epóxido con una concentración de 1.0122 mg/kg p.s. en tejido de *Anadara* sp.

Lastimosamente, la información es limitada en cuanto al período espacio-temporal, concentraciones letales, límites de detección y cuantificación (no muy detallada). Sin embargo, es importante mencionar que es el único estudio disponible y que hace referencia a organismos vivos de esa zona geográfica.

Humedales de la región oriental

Este caso se puntualiza específicamente en la Bahía de Jiquilisco y el Golfo de Fonseca respectivamente en términos de extensión superficial y cobertura de manglares, canales primarios y secundarios estuarinos, remanentes de boques aluviales son los de mayor superficie. Ambos humedales sostienen la pesquería artesanal más importante de El Salvador y en el caso particular de la Bahía de Jiquilisco, es donde se concentra la batería camarónica (serie de estanques en grandes cantidades de cultivo de camarón marino de camarón marino (*Litopenaeus vannamei* y *L. stylirostris*) más importante de El Salvador. Así como también alberga una extracción de "conchas negras", "curiles" (género *Anadara* sp) más grande del país.

Al igual que los anteriores humedales, las investigaciones sobre plaguicidas son mínimas, así como también solo hay datos puntuales.

López Zepeda (1977) citado por Rubio (1994), realizó un estudio de residuos de plaguicidas organoclorados en algunos peces, moluscos y crustáceos en la Bahía de Jiquilisco tal y como se muestra en el cuadro 2, las mayores concentraciones se detectaron en DDT en el grupo de peces de la siguiente forma: *Cynoscion* sp "curvina" 2.33 mg/kg p.s. ; *Mugil* sp "chimbera" 1.86 mg/kg p.s.; *Pomadays* sp "ruco" 1.79 mg/kg p.s.; segundo por el grupo de moluscos: *Anadara* sp "curil" 0.75 mg/kg p.s. y *Mytella* sp "churria" 0.62 mg/kg p.s.

No se reporta en el estudio mencionado anteriormente los períodos estacionales en que se realizó el trabajo, y límites de concentración permisibles para especies acuáticas. Por tanto, el presente análisis es limitado. Otro estudio que se llevó a cabo con énfasis en las baterías de camarón marino (*Litopenaeus vannamei*) cultivado y ubicadas sobre todo en Bahía de Jiquilisco sector occidental realizado por Nomen et al. (2012), con énfasis en determinar plaguicidas organoclorados y organofosforados en camarón cultivado, suelo, sedimento en estanques y también sedimento y agua alrededor de los estanques. Las muestras fueron realizadas en época seca (enero-marzo) y época lluviosa (junio-agosto).

Nomen et al. (2012) reportaron que en muestras del suelo alrededor de los estanques se encontró heptacloro, endrin, dieldrin. p,p'-DDE y p,p'-DDT, en concentraciones arriba de los límites de cuantificación (LOQ) y p,p'-DDE fue encontrado en concentraciones en el rango de 3.85 a 19.61 mg/L.

Tabla 15 Plaguicidas detectados en algunos peces, moluscos y crustáceos en Bahía de Jiquilisco. Tomado de López-Zepeda (1977) citado por Rubio (1994).

	DDT	Endrin	Dieldrin	Ethyl paratión
Análisis de peces (µg/kg p.s.)				
<i>Cynoscion</i> sp	2.33	0.16	0.04	-
<i>Mugil</i> sp	1.86	0.27	0.05	-
<i>Pomadays</i> sp	1.79	0.07	0.52	-
Análisis de crustáceos (µg/kg p.s.)				
<i>Litopenaeus</i> sp	0.56	-	-	-
Análisis de moluscos (µg/kg p.s.)				
<i>Anadara</i> sp	0.75	0.05	0.03	-
<i>Mytella</i> sp	0.62	0.03	0.02	0.01
Análisis de asteroideos				
<i>Oreaster</i> sp	0.35	0.06	0.02	-

El estudio concluyó que hay presencia de compuestos organoclorados en la Bahía de Jiquilisco atrapados en sedimento, los cuales fueron reportados desde 1980. No así en camarón cultivado, ni agua ni sedimento dentro de los estanques estudiados.

Normen *et al* (2012) determinaron plaguicidas organoclorados y organofosforados en áreas de cultivo del "camarón marino". Este artículo reporta niveles de γ -HCH; p,p'-DDT; p,p'-DDE; p,p'-DDD; endrin; dieldrin; heptacloro; parathión; methyl parathion y etoprophos en suelo (20 cm), sedimento (3 cm), "camarón marino" (*Litopenaeus vannamei*) y agua en tres estanques, y también sedimento (5 cm) y agua alrededor de los estanques en la Bahía de Jiquilisco. Los muestreos fueron en época seca (enero-marzo) y lluviosa (junio-agosto).

La presencia de plaguicidas en muestras de agua, camarones y sedimento de la estanquería no fue detectada en ninguna estación. En muestras de suelo alrededor de los estanques se encontró heptacloro; Endrin; Dieldrin; p, p'-DDT y p,p'-DDD fueron encontradas en concentraciones arriba de los límites de cuantificación (LOQ) y p,p'DDE fueron encontrados en concentraciones incluidas entre 3.85 a 19.61 $\mu\text{g}/\text{kg}$. En muestras de agua de origen estuarino que alimenta los estanques, se detectó dieldrin en el ámbito de 0.085 $\mu\text{g}/\text{L}$ y 0.182 en época seca.

Rubio (1994) reportó concentraciones de metil paratión de: 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ y paratión de 10 $\mu\text{g}/\text{L}$ en aguas estuarinas de la Bahía de Jiquilisco. El mismo autor señala para el tramo costero del Río Grande de San Miguel, especialmente la bocana, tiene valores críticos de: grupo aldrin de 3770.67 $\mu\text{g}/\text{L}$; heptacloro 159.81 $\mu\text{g}/\text{L}$; grupo DDT 63.39 $\mu\text{g}/\text{L}$ y BHC 53.13 $\mu\text{g}/\text{L}$. Para el humedal Bahía de Jiquilisco esto es particularmente importante porque la desembocadura del río Grande de San Miguel justamente es parte integrante de la bocana conocida como El Bajón de la Culebra (Sector Oriental de la Bahía de Jiquilisco).

Un estudio realizado por la U.S ARMY Corps of Engineers (1998) encontraron contaminación química por plaguicidas. En particular, señalan en zonas de grandes extensiones de cultivo de algodón en planicies costeras del sur. En el río Grande de San Miguel detectaron concentraciones de 3150 $\mu\text{g}/\text{L}$ de DDT.

Bahía de La Unión - Golfo de Fonseca

El humedal Bahía de La Unión está conformado por una red de canales estuarinos y manglares, rodeados por cursos fluviales como el río Goascorán-Sirama. Así como también el estuario de El Tamarindo son partes integrantes del Golfo de Fonseca, el cual merece una atención especial por su connotación triregional compartida entre Nicaragua y Honduras. Por tanto, cualquier acción antrópica de diversa índole productiva agroindustrial y otros que generan diferentes tipos de descarga pueden influenciar directa o indirectamente a los tres países.

En el estudio realizado por Matta *et al.* (2002) denominado "Hurricane Mitch Reconstruction/Gulf of Fonseca. Contaminant Survey and Assessment" los autores realizaron análisis de plaguicidas organoclorados y organofosforados en muestras de agua superficial, sedimento y biota ("bagre": *Bagre panamensis* y *Arius seemani*; "cangrejo violinista": *Uca sp* y "churia": *Mytella sp*).

Matta *et al.* (2002) en el Estudio de plaguicidas y metales pesados en el Golfo de Fonseca post Mitch por NOAA-AID, tomaron muestras de agua superficial, sedimentos y biota (*Bagre panamensis*, *Arius seemani* y *Galeichthys jordani*, "bagre" y *Uca sp* "cangrejo violinista") en El Salvador, Honduras y Nicaragua. Se establecieron en todo el Golfo 25 estaciones para El Salvador, 25 para Nicaragua y 25 para Honduras. Las muestras fueron procesadas en el laboratorio de Geochimica de Texas AAM University, obteniendo del total DDT, las siguientes observaciones: los plaguicidas clorados más detectados son los metabolitos del DDT (DDE y DDD); mayores concentraciones de DDT fueron detectadas en La Unión, la cual excedió de 2 mg/kg p.s. seguido de San Lorenzo (HON), El Tamarindo (SV) y el Estero Torcillos (NIC-HON).

En esta investigación, El Tamarindo es la estación a donde se encontraron las concentraciones de DDT más altas en El Salvador en peces y sedimento. Además, se encontraron altas concentraciones de DDT en mejillones (*Mytella sp*) con 11.9 $\mu\text{g}/\text{kg}$ p.s. y en sedimento con 118 $\mu\text{g}/\text{kg}$. También fue encontrado altas concentraciones (160 $\mu\text{g}/\text{kg}$ en p.s.) de diazinón (organofosforado) en peces de la Bahía de la Unión.

Estudio de plataforma oceánica de El Salvador

El único estudio realizado de carácter oceánico incluyendo la plataforma continental salvadoreña fue realizado durante la visita del buque de investigaciones "Urraca" donde Barraza (2003), recolectó muestras de sedimentos desde los 10 hasta los 400 metros de profundidad del agua dentro la plataforma continental de El Salvador. Cabe mencionar que, a partir de los 50 metros de profundidad, la riqueza de especies disminuye, apareciendo pocas especies dominantes.

Ocho muestras de sedimentos fueron colectadas y enviadas a analizar en el laboratorio de calidad integral de FUSADES para determinar los niveles de organoclorados y organofosforados. Los resultados indicaron que la concentración de estos compuestos en las ocho muestras analizadas se encuentra ausente o bajo los niveles de detección de los métodos utilizados (menos de 2.97 partes por billón, NOAA US EPA), los cuales no representan daño a la biodiversidad marina o a quienes se alimentan de organismos marinos asociados a fondos oceánicos, tales como lenguados, meros, pargos, corvinas, bagres, camarones, jaibas, langostinos, etc., lo cual se considera un importante y positivo hallazgo sobre la calidad ambiental del fondo del océano salvadoreño.

6.3 Metodología

6.3.1 Estrategia y plan de muestreo

La elaboración de este plan de muestreo se basa en la priorización de las sustancias de interés en el medio acuático, tal como se describe en las secciones del apéndice 11 (11.4 Priorización de las sustancias preocupantes a monitorear en el sistema acuático), la selección de la matriz ambiental (11.5 Matriz ambiental a ser muestreada) y la selección del laboratorio analítico (11.6 Elección del laboratorio analítico).

La contaminación por plaguicidas es la llamada contaminación de fuente difusa (en contraposición a la fuente puntual). Las fuentes difusas de contaminantes son complejas de vigilar porque las fuentes son múltiples y varían en el espacio y el tiempo.

La estrategia de muestreo incluye diferentes aspectos

como la matriz ambiental muestreada, la lista de sustancias seleccionadas (número y relevancia), la duración de la medición, la frecuencia, el número, la distribución de los puntos de muestreo así que el rendimiento del laboratorio. Por ejemplo, según los experimentos de medición de plaguicidas realizados en Suiza, el mejor método para medir concentraciones máximas de plaguicidas es tomar muestras frecuentes durante los períodos lluviosos (Wittmer et al., 2014). Por otra parte, se demostró en esta investigación que una muestra puntual tiende a subestimar las concentraciones que se encuentran en el medio ambiente (Wittmer et al., 2014) y es poco representativa de las condiciones reales. Por rendimiento de laboratorio se entiende la tasa de recuperación analítica de las sustancias obtenidas durante la extracción del contaminante usando disolventes del contaminante en la matriz ambiental y los límites de detección y cuantificación de los métodos analíticos aplicados.

Como se mencionó en el capítulo 5.3, hay tres períodos principales a donde se fumigan los cañales: durante la preparación del suelo (noviembre a enero), durante el mantenimiento de los cultivos mientras están creciendo (junio a agosto) y antes de la cosecha (septiembre a marzo). Después de su aplicación en los cultivos y los suelos, los plaguicidas se transportan principalmente a otros compartimentos ambientales por escorrentía, por el aire, erosión e infiltración de agua. Por estas razones, se toman muestras de agua durante el período de lluvias después de la fumigación para tener una idea del nivel de contaminación en el momento de la carga potencialmente más alta de plaguicidas y fertilizantes.

Esta campaña de muestreo preliminar incluye la toma de muestras prospectivas de 4 matrices ambientales diferentes (agua superficial y subterránea, sedimentos y peces) a fin de obtener un primer vistazo de los niveles de contaminación de ciertos plaguicidas, fertilizantes y metales pesados en la zona de estudio. La campaña de medición incluye 6 pozos de las comunidades, 3 estaciones repartidas en el Zanjón El Aguacate (brazo del río Paz) y 6 estaciones en el humedal de Garita Palmera (Tabla 11). La campaña incluye también análisis de peces que fueron capturados en la zona costera y en el humedal de Garita Palmera.

El siguiente mapa (Figura 29) muestra la ubicación de los diferentes puntos de medición considerados.

Los seis puntos de medición seleccionados para la medición de las aguas subterráneas están marcados por E1 (Paz y Progreso II), E2 (Rancho San Marcos), E3 (San Marcos Cañales), E4 (El Chino), E5 (ISTA) y E6 (El Palmo la Danta).

Se analizaron diferentes parámetros en estos pozos que dan acceso a estos acuíferos superficiales y se realizó un perfil de iones mayores entre la estación a mayor elevación (E1), que constituye el punto de referencia y los puntos a menor elevación o aguas abajo de los cañales (E5, E6). El paraquat, los organofosforos y triazinas se analizaron en E2, E3 y E4. Estas estaciones están situados en acuíferos porosos (formados por aluviones sedimentarios) y, por lo tanto, son más vulnerables a la contaminación proveniente de los cañales.

El Río El Aguacate contiene 3 estaciones de medición, la primera en la bocatoma del Río Paz (E7), la segunda a mitad de camino del humedal de Garita Palmera (E8, puente El Diamante) y la tercera cerca de su desembocadura en el humedal de Garita Palmera (E9) (Figura 29).

Desde los eventos climáticos de 1974 y el desvío del Río Paz de su cauce inicial, El Aguacate sólo recibe agua durante los fuertes episodios de lluvia llamados "temporales". Las muestras de agua de los pozos y del río se realizaron durante los primeros eventos de lluvia después de la fumigación típica de los cañales durante el período de finales de julio a octubre. Las muestras de sedimento se tomaron durante el período seco para obtener las condiciones adecuadas para la deposición de sedimentos y agua menos turbia para encontrar las corrientes. Los detalles de cada punto de medición se resumen en la Tabla 16.

6.2.3 Método de muestreo

Para una campaña de medición de microcontaminantes orgánicos (plaguicidas), debe evitarse el uso de plásticos (PE, PVC, etc.) en todos los utensilios que entren en contacto con los recipientes de muestra y transporte. La recogida y almacenamiento de muestras se realiza con herramientas de acero inoxidable, teflón (politetrafluoroetileno) o vidrio. Las muestras deben mantenerse a una temperatura de entre 4-8°C y ser

transportadas en 24 horas al laboratorio de análisis.

En cada una de las estaciones de medición estipuladas en la tabla 11 se rellena una hoja de protocolo con el nombre del operador, la fecha y la hora, las coordenadas del GPS, una descripción y un diagrama del lugar, los parámetros físico-químicos del agua, las condiciones meteorológicas de los días anteriores, las desviaciones del protocolo de muestreo y de transporte de las muestras.

Las muestras de agua de río y de pozo se recogen en frascos de borosilicato de 2L proporcionados por el laboratorio. La toma de muestras es la parte del proceso de medición que induce la mayor parte de la variabilidad en el resultado final y debe llevarse a cabo de acuerdo con el protocolo.

Muestreo del agua de los ríos

La toma de muestras de agua del río se basa en las recomendaciones de la guía de la Agencia Francesa del Agua Loira-Bretaña (AE-LB, 2006).

Abajo del punto de muestreo, se toman los parámetros de temperatura, pH, conductividad, turbiedad, oxígeno disuelto y potencial de Ox/Red y se registran en la hoja o diario de campo.

A fin de aumentar la representatividad del muestreo, se tomaron muestras compuestas de 8 litros en cada lugar. Se formaron añadiendo sucesivamente 1 litro de agua cada 15 minutos a dos botellas de vidrio de borosilicato de 4L contenidas en neveras. El tiempo de muestreo por estación es de 1 hora.

El frasco se llenó completamente y sin burbujas de aire. Un cuadrado de aluminio precalcinado se coloca entre la tapa y el cuello de vidrio para evitar el contacto del agua con el plástico. El frasco se mantiene en un refrigerador a una temperatura entre 4° y 8°C para retardar la descomposición microbiana.

Las muestras fueron recibidas por el laboratorio dentro de las 24 horas siguientes a la toma de la muestra. Se analizaron el paraquat y el glifosato a los 4 días y las triazinas y el organofosforado al mes de la entrega de las muestras.

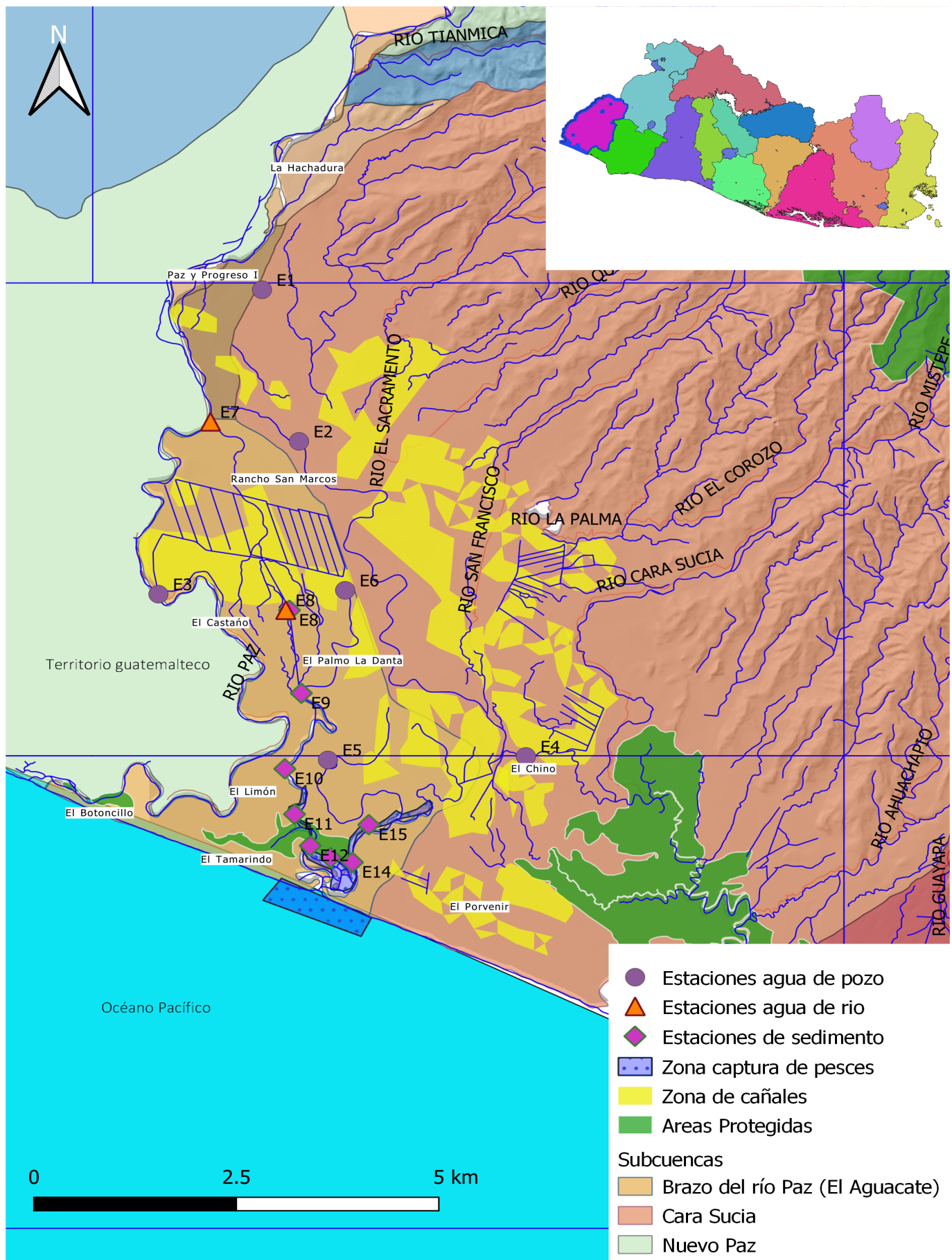


Figura 29 Mapa de la zona de estudio que incluye las estaciones de medición (E1-E9), la red hidrográfica, el tipo de acuíferos y las zonas de cultivo de azúcar. Fuente: elaboración en base a coberturas SIG MARN (2011) y mapa de uso de suelos Basagoitia Quiñonez & Flores (2016).

Tabla 16 Descripción de las estaciones para la toma de muestras. Sin mayores conocimientos de la dinámica de los acuíferos, se tomaron entonces solamente muestras de plaguicidas en los pozos más cercas a los cañales. Al respecto de los análisis de fertilizantes (y otros iones mayores), se consideró únicamente el punto en el acuífero menos contaminado (punto más arriba de la cuenca) y los pozos abajo de los cañales donde había concentraciones más altas de sólidos disueltos totales. Al respecto de los análisis de sedimento, se hizo solamente análisis de AMPA en los sitios más cercanos a los cañales porque se degradan rápidamente.

Código de la estación	Coordinantes	Comunidades	Plaguicidas y fertilizantes analizados	Período de muestreo
Agua de pozos				
E1	N13 49.928, W090 05.810	Comunidad: Paz y Progreso II Punto de referencia	Fosfato Nitratos, Nitritos Sulfatos	Época lluviosa mayo-noviembre
E2	N13 48.325, W090 05.44	Comunidad: Rancho San Marcos	Triazinas Paraquat	Época lluviosa mayo-noviembre
E3	N13 46.709, W090 06.844	Comunidad: San Marcos Cañales	Triazinas Paraquat	Época lluviosa mayo-noviembre
E4	N13 44.993, W090 03.175	Comunidad: El Chino	Triazinas Paraquat	Época lluviosa mayo-noviembre
E5	N13 44.956, W090 05.152	Comunidad: Colonia ISTA	Fosfato Nitratos, Nitritos Sulfatos	La temporada de lluvias, julio-octubre
E6	N13 46.75 W090 04.98	Comunidad: El Palmo la Danta	Fosfato Nitratos, Nitritos Sulfatos	Época lluviosa mayo-noviembre
Aguas y sedimentos de río El Aguacate				
E7	N13 48.532, W090 06.324	Bocatoma del Río El Aguacate Punto de referencia	En agua: Glifosato, Paraquat, Organofosforado	Época lluviosa mayo-noviembre
E8	N13 46 32.320, W090 05 32.164	Puente El Diamante posterior a los cañales	En agua: Glifosato, Paraquat, Organofosforado En sedimento: Organoclorados, AMPA, Paraquat, Metales pesados	Época lluviosa mayo-noviembre Época seca noviembre-abril
E9	N13 45 39.692, W090 05 24.998	Puente El Castaño posterior a los cañales	En sedimento: Organoclorados, AMPA, Paraquat, Metales pesados	Época seca noviembre-abril
Sedimentos del humedal de Garita Palmera				
E10	N13 44 51.7205, W090 05 34.9041	Los Mangos	Organoclorados, AMPA, Paraquat, Metales pesados	Epoca seca noviembre-abril
E11	13° 44' 22.9094" N, 090° 05' 29.1064" W	El Perol	Organoclorados, Organofosforado, Paraquat, Triazinas, Metales pesados	Época seca noviembre-abril
E12	13° 44' 02.8993" N, 090° 05' 19.6747" W	El Enganche	Organoclorados, Organofosforado, Paraquat, Triazinas, Metales pesados	Época seca noviembre-abril

Código de la estación	Coordinantes	Comunidades	Plaguicidas y fertilizantes analizados	Período de muestreo
E13	13° 43' 55.3755" N, 090° 05' 07.5614" W	Bajo El Caballo	Organoclorados, Organofosforado, Paraquat, Triazinas, Metales pesados	poca seca noviembre-abril
E14	13° 43' 52.3915" N, 090° 04' 54.4276" W	Los Cayocos	Organoclorados, Organofosforado, Paraquat, Triazinas, Metales pesados	Época seca noviembre-abril
E15	13° 44' 16.2704" N, 090° 04' 44.5863" W	El Cuje	Organoclorados, Organofosforado, Paraquat, Triazinas, Metales pesados	Época seca noviembre-abril

Muestreo del agua de los pozos

El muestreo de pozos se basa en el Procedimiento Operativo Estándar del Contrato de Servicios Científicos, de Ingeniería, Respuesta y Análisis (SERAS, 2007). La toma de muestras de pozos tiene lugar desde el punto más alto aguas arriba (potencialmente menos contaminado) hasta el punto más bajo aguas abajo (potencialmente más contaminado).

El muestreo del agua de los pozos cubre algunas especificidades diferentes a las de las aguas superficiales. En efecto, según el nivel de utilización del pozo, el agua disponible en la superficie es agua estancada que no representa el agua del acuífero. Por esta razón, antes de recoger la muestra para su análisis, el pozo debe ser purgado de 3 a 5 veces de su volumen. Durante su purga se miden los parámetros temperatura, pH, turbidez y conductividad hasta obtener valores estables. Esto garantiza que ha entrado suficiente agua del acuífero al pozo y que la muestra será representativa del acuífero. En todos los casos, el agua enviada por los análisis debe tener una turbidez de menos de 50 NTU.

Las muestras fueron recibidas por el laboratorio dentro de las 24 horas siguientes a la toma de la muestra. Se analizaron el paraquat y el glifosato a los 4 días y las triazinas y el organofosforado al mes de la entrega de las muestras.

Muestreo de sedimentos

El muestreo de sedimentos en el río El Aguacate y en el humedal se basa en el método suizo armonizado de muestreo de sedimentos para la evaluación de la calidad según los criterios de evaluación ecotoxicológica (Casado-Martinez et al., 2016). Sin embargo, las muestras de río se recogieron con un achicador y las muestras de humedales se recogieron con un tubo PVC de 1.20 m de largo con un diámetro de 10 centímetros.

El muestreo de sedimentos incluyó una muestra compuesta de por lo menos 3 puntos diferentes por sitio, a fin de obtener una muestra representativa del área de estudio. Ninguna persona entra en el cuerpo de agua hasta que las zonas de deposición hayan sido identificadas. Las áreas de sedimentos recolectados deben estar sumergidas durante todo el año (también durante los períodos de baja corriente), contener una fracción lo más grande posible de partículas finas y estar ubicadas en una zona de deposición que sea una zona de baja corriente como una zona cóncava y/o que tenga vegetación.

Cuando una persona entra en el río, lo hace desde el punto aguas abajo de los puntos de muestreo, para evitar la removilización del sedimento. La toma de muestras se realiza en la dirección de abajo hacia arriba para evitar efectos indeseables debido a la removilización de los sedimentos. Se determina la

profundidad, la corriente y la naturaleza del sustrato de la sección transversal a muestrear antes de entrar al río. Se colectan los primeros 2-10 cm de sedimento en un balde no contaminado con una cuchara, en al menos tres puntos por sección transversal para formar una muestra compuesta representativa de la sección transversal. En cada punto de muestreo, se vació el agua de la superficie en la cuchara antes de recoger el sedimento en el balde.

Si la toma de muestras es concluyente (por ejemplo, suficiente sedimento fino en el balde), se quitan las piedras, hojas y otras ramas manualmente del balde con guantes. Se anota en la hoja de campo las peculiaridades de la muestra en cuanto a color (cambio de color en contacto con el aire), olor y consistencia. Se homogeniza el contenido del balde con una espátula inerte hasta obtener una consistencia, textura y color homogéneos de al menos 3 L. Tamizar a 2 mm sin añadir agua y recoger el tamiz en un segundo balde no contaminado. Se llenan las bandejas de aluminio hasta el borde y se cierran con papel de aluminio. Se coloca todo verticalmente en la hielera.

Al igual que con las muestras de agua de río, todo el equipo de muestreo se enjuaga 3 veces con el agua del sitio. También se miden los parámetros físico-químicos del agua y se hace un diagrama esquemático del lugar y de los puntos de muestreo.

Muestreo peces

Captura de peces: Especímenes de tres familias de peces fueron capturados los cuales fueron los siguientes: Familia Ariidae, específicamente se capturaron 8 especímenes adultos del género *Arius guatemalensis* ("bagre negro"), empleando anzuelos N° 4 en brazo estuarino conocido como "EL Perol" los especímenes fueron medidos y pesados empleando una cinta métrica graduada en centímetros. Se tomó la longitud (L.T.) y el peso expresado en gramos (g) empleando una balanza digital con capacidad de +/- 1 gramos y se anotó en la hoja de campo.

Por otra parte, se capturaron 9 especímenes correspondientes a la familia Mugilidae concretamente de la especie *Mugil curema* en el sector estuarino

conocido como "La Cuchilla". Para lo cual se emplearon atarrayas de 3.25 yardas y 1/2 pulgada de maya estirada e hilo 020.

Finalmente se capturaron 3 especímenes de la familia Lutjanidae: 2 individuos de *Lutjanus guttatus* ("pargo lunar") y 1 de *Lutjanus novemfasciatus* ("pargo rojo") empleando anzuelos N° 4 e hilo perlón con carnada de camarón. Estas capturas se realizaron a 2 km frente a la costa de Garita Palmera en el sector conocido como "el barco hundido".

Es importante aclarar que todo el producto pesquero fue comprado a pescadores artesanales de la zona. Se midió la longitud y el peso de cada pez y se determinó su especie para separar las muestras según especie.

Procesamiento de las muestras: Cada espécimen capturado fue lavado, eviscerado, cortándole la cabeza y cola. Posteriormente la fracción muscular de cada individuo fue cortada en pequeños trozos de 5cm x 4cm, almacenándolos en bolsas plásticas ziplock esterilizadas y selladas. Cada bolsa fue debidamente identificada, rotulada y codificada. Inmediatamente cada bolsa fue congelada en un freezer. Se tomaron características morfológicas tales como: aletas, tamaño de las aletas, radios blandos, tipo de dientes, coloración al fresco y arcos branquiales. Además, para la identificación de peces, se utilizó la siguiente clave taxonómica Robertson & Allen (2015):

6.4 Resultados

6.4.1 Calidad del agua y sedimento del Río El Aguacate

Las estaciones E7, E8 y E9 (ver Figura 29 y Tabla 16) en el río El Aguacate fueron monitoreadas entre octubre de 2020 y enero de 2021. La calidad del agua se evaluó al final del período de lluvias (14 de octubre de 2020) entre la estación E7 en la bocatoma de El Aguacate y la estación E8 aguas abajo de los cañales. Ambas estaciones fueron caracterizadas por sus parámetros físicoquímicos y sus concentraciones de glifosato, paraquat y organofósforo. La estación E8, aguas abajo de los cañales, también fue analizada por su contenido en iones mayores.

El caudal del río El Aguacate en el día de muestreo era de 224 (± 13) litros por segundo. Los días anteriores a la toma de muestras se caracterizaron por la escasez de precipitaciones (4 mm la noche anterior), aunque éste seguía siendo el período de lluvias. Las últimas lluvias con cantidades significativas fueron el 5 de octubre con 45 mm. Sin embargo, se observó que el régimen de lluvias de este año se vio particularmente perturbado por el paso de las tormentas tropicales "Amanda" (30-31 de mayo, 147 ± 20 mm acumulados en 48 horas en la zona de estudio) y "Cristóbal" (1-12 de junio, 417 ± 38 mm de lluvia en 12 días) que indujeron varias inundaciones en la zona. Los niveles de precipitación para mayo y junio de este año (683 mm), registrados en la red de monitoreo de la comunidad, es un factor de 2,5 más alto que en años anteriores (258 mm según CLV (2018)).

El día de la toma de muestras fue soleado. En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos para la calidad del agua obtenida en la entrada del Río El Aguacate (E7) y en la estación situada aguas abajo de los cañales (E8).

El pH medido en el agua corriente arriba de los cañales corresponde a los valores normales de las aguas superficiales (8.3). El valor del pH cae en 1,2 puntos aguas abajo de los cañales, pero se mantiene dentro de los valores que permiten el desarrollo de las especies acuáticas (6,5-9). Esta acidificación se debe a las fuertes lluvias (fenómeno natural) y a la acidificación del suelo inducida por el uso de ciertos fertilizantes nitrogenados (Barak et al., 1997). La reducción del oxígeno disuelto y

del potencial redox, y el incremento del TDS podrían indicar la introducción de un componente reductor al agua o que consume el oxígeno disuelto, tal como sería la introducción de materia orgánica al río.

El potencial redox es un valor para juzgar la capacidad del río para purificarse de contaminantes y materia orgánica. Depende del oxígeno presente en el sistema si puede ayudar a la degradación de estas moléculas. Las aguas superficiales saludables deberían tener un potencial positivo de 300-500 mV (Søndergaard, 2009). El potencial redox y el pH también son importantes para determinar el patrón de especiación de los metales y metaloides y la reducción u oxidación de las diferentes moléculas orgánicas (Plant et al., 2003; Williams & Fraústo da Silva, 2006).

El nivel de oxígeno en la entrada del Río El Aguacate correspondiente al del Río Paz es muy bueno con un valor de 8.2 mg/L, que está por encima del 100% teórico a esta temperatura y conductividad (7.38 mg/L). Este resultado puede explicarse por la alta productividad fototrófica que tiene lugar a esta hora del día (11:05 am). El nivel de oxígeno en la estación de medición a 4500 m aguas abajo de esta estación desciende drásticamente con un valor de 4.8 (mg/L), es decir, sólo un 63% de saturación de oxígeno. En el caso de las aguas cálidas (clima tropical), el criterio de calidad del agua de la OMS establece un valor de 5-6 mg/L para la biota como la concentración mínima de oxígeno disuelto (Enderlein et al., 1996). La exposición a valores más bajos hace que los peces sean más susceptibles a las enfermedades y al estrés medioambiental (Wilson,

Tabla 17 Parámetros físico-químicos con desviación estándar (\pm SD) y análisis de herbicidas en el río El Aguacate.

Río El Aguacate	E7 Estación arriba de los cañales	E8 Estación abajo de los cañales
Parámetros fisicoquímicos		
Temperatura (°C)	31.3 (± 0.2)	29.2 (± 0.2)
pH	8.3 (± 0.1)	7.1 (± 0.1)
Oxígeno disuelto (mg/L)	8.2 (± 0.2)	4.8 (± 0.3)
Potencial de Redox (mV)	94.9 (± 1.2)	29.9 (± 2.1)
Conductividad (μ S/cm)	400.2 (± 2.7)	1006.3 (± 4)
TDS (mg/L)	200.4 (± 1.5)	502.0 (± 2.9)
Turbidez (NTU)	32.0 (± 10.6)	27.0 (± 20.7)
Transparencia (cm)	30 (± 10)	>15 cm*

2010). De hecho, los valores bajos de oxígeno y de pH pueden aumentar la toxicidad de los metales (Zn, Pb, Cu) para los organismos acuáticos (Enderlein et al., 1996). Los valores de oxígeno disuelto por debajo de 3 mg/L son letales para la mayoría de las especies de peces (Wilson, 2010).

Esta saturación de oxígeno indica una mayor demanda de oxígeno de la producida por los organismos fotosintéticos. La demanda biológica de oxígeno aumenta con la descomposición microbiológica de la materia orgánica en la corriente. En las zonas agrícolas, el crecimiento descontrolado de las algas acuáticas, y por lo tanto posteriormente de la materia orgánica, indica una sobreabundancia de nutrientes (nitrato, fósforo) por la lixiviación de los fertilizantes. Este proceso se llama eutrofización acelerada.

La conductividad es un indicador de la concentración total de iones disueltos en el agua, incluyendo cationes (Na⁺, K⁺, Ca⁺, Mg²⁺ etc.) y aniones (CO₃²⁻, NO₃⁻, PO₄²⁻, SO₄²⁻, etc.). El aumento de su valor entre la estación de arriba y la estación de debajo de los cañales indicia una contaminación. La conductividad aumenta en un factor de 2.5 después de los cañales (1006 µS/cm) en comparación con el valor a la entrada del río El Aguacate (400 µS/cm). Este aumento puede deberse a la lixiviación de los fertilizantes, con lo que aumentan las concentraciones de nitrato, fosfato y potasio en el agua.

La medición del total de sólidos disueltos (TDS) corresponde concentración de iones disueltos en el agua. En el agua de mar limpia, corresponde a los valores de salinidad. En este río, otras moléculas en forma iónica probablemente también contribuyen a la carga total de TDS, como la urea y otros fertilizantes. El valor de TDS informado por la sonda se calcula a partir de los valores de conductividad, por lo que también existe un factor de 2.5 entre la corriente ascendente y la descendente.

La turbidez es otra forma de medir la transparencia del agua. Depende de la presencia de partículas minerales (arcillas, limos) y partículas orgánicas (fitoplancton, microorganismos, compuestos orgánicos disueltos). Para proteger la vida acuática, la CCME recomienda un aumento de no más de 8 NTU en un período corto

de tiempo o 2 NTU en un período largo de tiempo en comparación con los valores de fondo (CCME, 2002). Los valores de turbidez medidos (29.5 NTU) son en promedio 24.75 NTU más altos que el promedio de los valores reportados en períodos secos en 4 sitios del río Paz (B-01 a B-04-RPaz en MARN, 2017), lo que indica una erosión muy pronunciada en la cuenca.

Los valores de turbidez no son significativamente diferentes entre las estaciones arriba y debajo de los cañales. La precisión de la medición de la turbidez por el tubo transparente no permite destacar una diferencia significativa. Cabe señalar también que había una cuenca de sedimentación aguas arriba del sitio muestreado en el río El Aguacate (estación E7). El nivel de transparencia medido con el disco secchi (30 cm) en la entrada del río El Aguacate está en un valor límite caracterizado por una excesiva turbidez para la supervivencia de los peces (Boyd, 2004).

Para completar esta evaluación, se analizó una muestra de agua para determinar su composición de iones principales (resultados en mg/L Tabla 18). Las concentraciones de sulfato son diez veces superiores a los valores medidos en el valor de referencia para el lugar situado aguas arriba de la cuenca. Los sulfatos no son directamente tóxicos, pero pueden formar ácidos fuertes en el agua, lo que podría explicar los valores de pH más bajos en comparación con el agua del sitio de aguas arriba. Esta elevada abundancia de sulfatos podría explicarse por el uso de fertilizantes químicos en los campos. Sin embargo, los resultados indican una buena capacidad de buffer (alta alcalinidad) que permite estabilizar el pH. Los niveles de fosfato total medidos suponen una seria amenaza de hipertrofia que podría disminuir aún más los niveles de oxígeno durante el período seco, cuando las temperaturas y las concentraciones de iones aumentan debido a la evaporación.

Dentro de las observaciones de la zona de la estación debajo de los cañales (E7) pudo evidenciarse: en el sustrato del río, arena fina mezclada en ciertos remansos con fango; coloración marrón (con mezcla de color blanquecino); se observó presencia leve de espuma, no presentaba sulfuro de hierro, ni colmatación, con residuos sólidos; se distinguían desechos orgánicos e inorgánicos; con los organismos

Tabla 18 Resultados de los análisis de iones mayores del Río El Aguacate en la estación E8.

	Concentración (mg/L)	Valores guía para medio ambiente (mg/L)	Comentarios	Interpretación
Calcio (Ca ²⁺)	77.2	-	-	-
Cloruro (Cl ⁻)	34.95	-	-	-
Carbonato y bicarbonato (CO ₃ ²⁻ /HCO ₃ ⁻)	434.32	> 20 mg/L	Para protección de la vida acuática no debe ser inferior a 20 mg/L ¹	Buena capacidad de buffer del agua – Agua muy alcalina
Potasio (K ⁺)	9.23	-	-	-
Magnesio (Mg ²⁺)	24.9	-	-	-
Sodio (Na ⁺)	39.4	-	-	-
Nitritos (NO ₂ ⁻)	-	<0.05 mg/L N ²	Ausencia de nitritos	-
Nitratos (NO ₃ ⁻)	2.38 o 0.54 (mg/L N)	<1.5 mg/L N ²	A esta concentración, no hay efectos nocivos evidentes en las biocenosis	Contaminación por escorrentía de fertilizantes
Ortofosfatos (PO ₄ ²⁻)	0.45 o 0.15 (mg/L P)	<0.04 mg/L P ²	Nivel hipertrófico – Riesgo de asfixia ambiental	Contaminación por escorrentía de fertilizantes
Sulfatos (SO ₄ ²⁻)	384.1	-	Puede formar sulfuros tóxicos en un entorno anaeróbico – Puede formar ácidos fuertes que reducen el valor del pH. ³	Contaminación por escorrentía de fertilizantes

¹ US EPA, 2002, p. 2002² Stucki, 2010³ DEP Kentucky, 1997

heterótrofos presentaban algas verdes (macrofitas) en poca cantidad y con respecto a la vegetación acuática, solo se evidenció "lechuga de agua". En relación a otras observaciones, las algas sugieren riqueza de nutrientes, se visualizaron "chimbolos" (familia polycidae), y respecto a la vegetación circundante, presentaba un ambiente altamente perturbado con cultivo de cañales, "higerrillos" (*Ricinus communis*) y "hemelina" (*Hamelia* sp).

Las muestras tomadas aguas arriba y aguas abajo de los cañales no detectaron glifosato, paraquat y organofosforado. El límite de cuantificación (LOQ) del glifosato por el método analítico utilizado fue de 64 µg/L. Este LOQ es suficientemente bajo como para indicar que estas muestras de agua no suponen

un riesgo para las especies acuáticas a causa de este herbicida. Esta evaluación se basó en el último criterio de calidad ambiental crónica desarrollado por el Centro Suizo de Ecotoxicología establecido en 120 µg/L (Ecotox Centre, 2016a).

El límite de detección para el análisis del paraquat es de 106 µg/L. El gobierno australiano propone un valor de referencia para la protección del sistema acuático de 0.5 µg/L (AGI, 2000). Aunque este valor guía no es fiable debido a la falta de datos toxicológicos, el límite de detección no descarta un riesgo para los organismos acuáticos.

Los organofosforados medidos en el agua del río están por debajo del límite de detección mencionado

Tabla 19 Contaminantes analizados, rendimiento analítico del laboratorio (LOD límite de detección; LOQ límite de cuantificación), valores de referencia para la protección del medio acuático, resultados analíticos de los lugares seleccionados.

Contaminantes	Rendimiento analítico		Interpretación	Sitios	
	LOD (µg/L)	LOQ (µg/L)		Estación arriba de los cañales E7	Estación abajo de los cañales E8
Aminofosfonato					
Glifosato	21	64	120a	Nd	Nd
Bipiridilos					
Paraquat	35	106	0.5b	Nd	Nd
Organofosforados					
Clorpirifos	6	17	4.6*10 ⁻⁴ a	Nd	Nd
Diazinón	7	21	0.1699c	Nd	Nd
Diclorvos	12	38	0.132d	Nd	Nd
Etil Paratión	5	16	0.013c	Nd	Nd
Etión	36	118	0.028d	Nd	Nd
Malation				Nd	Nd
Metil Paratión	8	25	0.1c	Nd	Nd
Pirimifos Metil	7	21	0.055c	Nd	Nd
Triazofos	15	45	-	Nd	Nd

Nd: No detectado

a: Criterios de calidad de la exposición crónica del Centro Suizo de Ecotoxicología (Ecotox Centre, 2021).

b: Criterio crónico de calidad del agua en China. (Tt et al., 2019)

c: Criterio Concentración Continua (Criterion Continuous Concentration) de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (OCSP US EPA, 2015a).

d: Valor de toxicidad aguda de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (OCSP US EPA, 2015a).

en la tabla 19. Sin embargo, la mayoría de los límites de detección están por encima de los límites ecotoxicológicos, por lo que no se puede descartar un riesgo.

6.4.2 Calidad del agua en los pozos

La profundidad a la que se encontraba el acuífero y el nivel de los acuíferos en función del nivel del mar en el día de la toma de muestras se indican en las dos primeras líneas del cuadro que figura a continuación (Tabla 20). Los puntos de medición se han ordenado de izquierda a derecha según su elevación sobre el nivel del mar, comenzando por el pozo ubicado al extremo aguas arriba hasta el pozo al otro extremo aguas más abajo.

A fin de situar el nivel de los acuíferos en función de

sus variaciones durante el año, el promedio anual de las mediciones a lo largo de 12 meses, así como los máximos y mínimos registrados, se consignan también en el mismo cuadro sobre la base de los datos mensuales de febrero de 2019 a enero de 2020.

Todos los puntos del acuífero muestreado son acuíferos de baja profundidad, especialmente los puntos E2 a E6 (2 a 3,1 metros). El punto E1 es la estación de referencia situada en la parte superior de la cuenca (unos 24 metros sobre el nivel del mar). El agua en este punto proviene de un acuífero de origen volcánico y no es vulnerable a la contaminación de la superficie. Por el contrario, los puntos E2 a E6 están situados en acuíferos porosos compuestos de arena y grava no consolidados (MARN, 2013b). Este tipo de acuíferos es muy productivo (buena rentabilidad en términos de volúmenes de agua disponibles y se recargan fácilmente). Sin embargo, también son mucho más sensibles a la contaminación

Tabla 20 Descripción de los pozos muestreados que comprende: nivel piezométrico en función del suelo (profundidad del agua del suelo en metros), nivel piezométrico en función de la altitud, nivel piezométrico medio anual (desviación estándar), nivel piezométrico mínimo registrado, nivel piezométrico máximo.

Estaciones de pozos	E1 Paz y Progreso II	E2 Rancho San Marcos	E3 San Marcos Cañales	E4 El Chino	E5 Colonia ISTA	E6 El Palmo la Danta
Profundidad al agua	6.1	2.5	3.1	2.0	2.5	1.98
Nivel del acuífero (msnm)	23.88	9.50	5.90	2.00	12.47	ND
Nivel anual del acuífero (SD)	23 (0.7)	7.9 (0.7)	4.2 (0.8)	0.8 (0.9)	11.4 (0.9)	ND
Nivel mínimo del acuífero	22.16	6.93	2.65	-0.97	9.80	ND
Nivel máximo del acuífero	24.50	9.25	5.50	2.40	12.82	ND

ND: No disponible

de la superficie (por ejemplo, los fertilizantes, algunos plaguicidas). Los acuíferos de las comunidades de San Marcos Cañales y El Chino están muy cerca del nivel del mar (5.9 y 2 metros). El mes de muestreo (octubre de 2020) corresponde casi al nivel máximo registrado en el período comprendido entre febrero de 2019 y enero de 2020.

En la tabla siguiente (Tabla 21) se resumen los parámetros físico-químicos, incluidos la temperatura, el pH, la conductividad y el total de sólidos disueltos.

Cada parámetro va acompañado del promedio medido en mayo de 2019, febrero y octubre de 2020.

Según los pocos datos disponibles, los valores de temperatura y pH están cerca del promedio anual. Las aguas son de neutras a ligeramente ácidas (pH por debajo de 7). Esto podría explicarse por las precipitaciones (agua ácida) que se produjeron en los días anteriores a la toma de muestras y los elementos presentes en los suelos (iones disueltos).

Tabla 21 Parámetros físico-químicos de los acuíferos en el día de la medición y el promedio registrado desde mayo de 2019 hasta octubre de 2020. Los parámetros reportados son la temperatura, el pH, la conductividad, el total de sólidos disueltos y el potencial redox.

Estaciones de pozos	E1 Paz y Progreso II	E2 Rancho San Marcos	E3 San Marcos Cañales	E4 El Chino	E5 Colonia ISTA	E6 El Palmo la Danta
T(°C)	24.5	29.2	30	29.6	28.4	26.1
Media mayo 2019-octubre 2020 (desviación estándar)	29.4 (0.1)	29.2 (0.1)	30.1 (0.3)	29.7 (0.5)	29 (0.4)	ND
pH	6.7	7.0	7.2	6.9	7.0	7.33
Media mayo 2019-octubre 2020 (desviación estándar)	6.7 (0.2)	7.2 (0.1)	7.4 (0.1)	7.1 (0.1)	7.3 (0.2)	ND
conductividad (µS/cm)	470	1005	802	1744	549	3000
Media mayo 2019-octubre 2020 (desviación estándar)	481 (30)	1033 (19)	825 (15)	1329 (388)	1158 (407)	ND
TDS (ppm)	235	504	401	872	271	1503
Media anual (desviación estándar)	266 (51)	570 (111)	456 (89)	710 (130)	651 (294)	ND
Potencial Redox (mV)	-0.3	17.7	28.8	12.5	22.1	50.1
Media anual	ND	ND	ND	ND	ND	ND

ND: No disponible

La conductivade y los TDS medidos en las comunidades de Rancho San Marcos (1005 $\mu\text{S}/\text{cm}$), El Chino (1744 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y El Palmo la Danta son altos en comparación con la estación de referencia (E1 470 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Las estaciones de la Colonia ISTA y El Chino tienen importantes fluctaciones de conductividad en la capa freática durante el año (± 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

El potencial redox de los pozos muestreados, muestra valores oxidantes para los pozos E2 a E6 y condiciones reductoras para el pozo E1. Los pozos E2 a E6 están situados en acuíferos costeros porosos, lo que explica las condiciones aeróbicas (McMahon, 2010). Por el contrario, el acuífero de origen volcánico del punto aguas más arriba, presenta condiciones anaeróbicas y reductoras.

La siguiente tabla (Tabla 22) resume los resultados obtenidos para los análisis de iones principales en tres pozos comunitarios (E1, E5, E6). El pozo E1 representa el punto de referencia que caracteriza el tipo de agua presente en el acuífero aguas arriba de los cultivos. El agua es de tipo bicarbonatada sódica (GIH UES, 2021) porque su composición está formada principalmente por bicarbonato como aniones y sodio como catión.

Un aumento de las concentraciones de nitratos y fosfatos de aguas arriba hacia aguas abajo de la cuenca podría indicar una contaminación por los fertilizantes NPK. Los nitratos están ausentes en las aguas de referencia arriba de la cuenca (E1) y se encuentran en los acuíferos aguas abajo (E4). Los fosfatos aumentan

en un factor significativamente más alto (3,4) que todos los demás iones (0,8-1,6). Sin embargo los análisis de iones mayoritarios no muestran excesos en las normas de agua potable para los nitratos (50 mg/L) y nitritos (3 mg/L) (E. Álvarez & Rodríguez Pacas, 2001) incluso tienen valores de concentraciones bajos que pueden ser explicados por la temporada de lluvias.

Sin embargo, los parámetros fisicoquímicos medidos y las concentraciones de determinados iones mayoritarios hacen que el agua de pozo sea inaceptable para el consumo humano, no por factores toxicológicos, sino por criterios de aceptabilidad gustativa. La OMS recomienda una carga de TDS de <600mg/L y concentraciones de sulfato de <250mg/L y de sodio de <200 mg/L (WHO, 2006). Estos factores explican que comunidades como El Chino y El Palmo la Danta ya no utilicen el agua de sus pozos para beber o cocinar. También hay que notar que el Na y el Cl se incrementan considerablemente de E1 a E6, lo que sugiere que podría haber alguna influencia del agua de mar (intrusión marina) al acuífero superficial. La razón Na/Cl in meq for E1, E5, E6, es 1.04, 0.70 y 0.75 respectivamente. Si se compara con la razón Na/Cl para el agua de mar que es 0.78, podemos ver que probablemente E5 y E6 si tienen alguna contribución de agua de mar.

La siguiente tabla (tabla 23) presenta las concentraciones en miliequivalentes por litro para calcular el balance iónico y las relaciones iónicas según la metodología presentada por Zúñiga et al., 2010 para el estudio de la salinización en la zona costera de Antioquia (Colombia).

Tabla 22 Concentraciones medidas de los iones mayoritarios (mg/L).

Estaciones de pozos	E1 Paz y Progreso II	E5 Colonia ISTA	E6 El Palmo la Danta
Ca ²⁺	23.55	31.08	83.95
Cl ⁻	38.45	60.68	594.21
CO ₃ ²⁻ /HCO ₃ ⁻	226.92	204.95	732.00
K ⁺	47.20	74.90	24.30
Mg ²⁺	7.30	5.78	26.75
Na ⁺	25.80	27.50	290.00
NO ₂ ⁻	-	-	-
NO ₃ ⁻	-	10.30	0.30
PO ₄ ²⁻	0.39	1.31	2.34
SO ₄ ²⁻	33.17	85.74	619.05

Tabla 23 Cuadro que resume las concentraciones iónicas expresadas en miliequivalentes por litro, el balance iónico, las relaciones iónicas de determinados elementos químicos.

	E1 Paz y Progreso II meq/L	E5 Colonia ISTA meq/L	E6 El Palmo la Danta meq/L
Ca ²⁺	1.18	1.55	4.20
Cl ⁻	1.08	1.71	16.76
CO ₃ ²⁻ /HCO ₃ ⁻	3.72	3.36	12.00
K ⁺	1.21	1.92	0.62
Mg ²⁺	0.30	0.24	1.10
Na ⁺	1.12	1.20	12.61
NO ₂ ⁻	0.00	0.00	0.00
NO ₃ ⁻	0.00	0.17	0.00
PO ₄ ²⁻	0.01	0.03	0.05
SO ₄ ²⁻	0.69	1.79	12.89
Balance iónico	-1.70	-1.37	-6.40
Desequilibrio de carga (CI)	-18.21	-11.45	-10.63
rMg/rCa	0.26	0.15	0.26
rNa/rCa	0.95	0.77	3.01
rNa/rCa+Mg	0.76	0.67	2.38
rCl/rHCO ₃	0.29	0.51	1.40
rSO ₄ /rCl	0.64	1.04	0.77

El error en el balance iónico oscila entre el 11 y el 18%, lo cual es bastante elevado pero sigue siendo un nivel aceptable según Nordstrom et al., 2009. Un balance iónico que no está en equilibrio puede ser el resultado de la falta de análisis de elementos minoritarios presentes en altas concentraciones (por ejemplo, metales traza), de un error en los análisis analíticos o de agua ácida (contribución de iones H⁺) (Zúñiga et al., 2010).

La relación de iones rNa/rCa y rNa/rCa+Mg aumenta drásticamente de 0,95 y 0,76 entre el sitio de referencia de Paz y Progreso II a 3,01 y 2,38 en El Palmo la Danta, lo que muestra un aumento de los iones de sodio. Este es también el caso de rCl/rHCO₃ que aumenta de 0,29 a 1,4 que muestra un aumento de los niveles de cloruro en el agua. Las aguas interiores contienen una proporción de 0,1 a 5 y de 20 a 50 en el agua de mar. Según un estudio realizado en esta zona, esta salinización no procede de la intrusión salina del mar, sino del uso del suelo y del riego (Campos Hernández, 2016). Sin embargo, como se mencionó antes, la razón Na/Cl en meq de los pozos E5 y E6 son muy semejantes al agua de mar.

Según las recomendaciones de la FAO (Ayers & Westcot, 1994), el riego debe limitarse de bajo a medio en sitios

con TDS entre 450-2000 mg/L, conductividad eléctrica entre 700-3000 µS/cm, concentración iónica de sodio > 3 (meq), concentración iónica de cloruro entre 4-10 meq. Estos índices muestran que las medidas de restricción baja o media deben tomarse ya al inicio de la estación seca para garantizar la protección a largo plazo de los suelos y los cultivos en las comunidades de Rancho San Marco, El Chino y El Palmo la Danta.

La siguiente tabla (tabla 24) resume los resultados obtenidos en los análisis de paraquat y triazinas organofosforadas en el agua de los pozos realizados durante la temporada de lluvias.

Las 3 muestras tomadas no detectaron glifosato o paraquat. El límite de cuantificación del glifosato según el método analítico utilizado en el laboratorio es de 64 µg/L. Este límite de cuantificación es lo suficientemente bajo como para concluir, de acuerdo a estos resultados, que estas muestras de agua no plantean un riesgo para el consumo humano de glifosato en el límite de 5 mg/L citado en la WHO (2006).

El límite de cuantificación para el análisis del paraquat es de 106 µg/L. El gobierno canadiense establece una concentración máxima aceptable para el paraquat

Tabla 24 Cuadro que resume el rendimiento analítico del laboratorio contratado, los valores guías para la salud humana y los resultados del análisis de plaguicidas en las aguas de pozo.

Contaminantes	Rendimiento analítico		Interpretación	Sitios		
	LOD (µg/L)	LOQ (µg/L)		E2 Rancho San Marcos	E3 San Marcos Cañales	E5 El Chino
Bipiridilos						
Paraquat*	35	106	7b	Nd	Nd	Nd
Organofosforados						
Clorpirifos	6	17	30	Nd	Nd	Nd
Diazinón*	7	21	-	Nd	Nd	Nd
Diclorvos	12	38	-	Nd	Nd	Nd
Etil Paration**	5	16	-	Nd	Nd	Nd
Etión	36	118	-	Nd	Nd	Nd
Malation**			-	Nd	Nd	Nd
Metil Paration**	8	25	-	Nd	Nd	Nd
Pirimifos Metil***	7	21	-	Nd	Nd	Nd
Triazofos*	15	45	-	Nd	Nd	Nd
Triazinas						
Ametrina	138	419	-	Nd	Nd	Nd
Atrazina	92	280	100a	Nd	Nd	Nd
Simazina	118	358	2a	Nd	Nd	Nd
Terbutilazina	104	317	7a	Nd	Nd	Nd
Terbutrina	122	370	-	Nd	Nd	Nd

*Es poco probable que aparezca en el agua potable

**Aparece en el agua potable en concentraciones muy inferiores a las que son preocupantes para la salud

*** No se recomienda su uso para el control de vectores en el agua potable

a : WHO, 2006

b : Canadá, 2005

en el agua potable de 7 µg/L (Canadá, 2005). El límite de cuantificación para este análisis no descarta completamente un riesgo para la salud humana.

La misma observación puede hacerse para el clorpirifos y la atrazina, que tienen límites de cuantificación ligeramente superiores a los valores de las directrices de protección de la salud. Tampoco es posible descartar el riesgo para la salud humana de la simazina y la terbutilazina porque sus valores de cuantificación son 59 y 15 veces superiores a los valores orientativos.

6.4.3 Análisis de peces y sedimento del humedal de Garita Palmera

Se analizaron cuatro muestras de pescado para determinar su contenido en ciertos plaguicidas

bioacumulables, como los organoclorados. También se analizaron algunos insecticidas con características hidrofóbicas, como los organofosforados.

En función del tamaño de los peces, se prepararon muestras compuestas para obtener una masa neta suficientemente grande para el análisis y también para aumentar la representatividad. Los pescadores que capturaron pargos no pudieron diferenciar las dos especies (*Lutjanus guttatus*, *Lutjanus novemfasciatus*). Por lo tanto, estas dos especies fueron separadas para los análisis.

En el cuadro siguiente (tabla 25) se indican, para cada muestra de pescado, la talla media, el peso medio por especie y el peso de la muestra analizada tras la disección. Cada plaguicida analizado va acompañado del límite de detección (LOD) y del límite de cuantificación

Tabla 25 Resultados del análisis de las muestras de peces recogidas en la zona húmeda y costera de Garita Palmera. LOD: Límite de detección del plaguicida, LOQ: Límite de cuantificación. RfD: Dosis de referencia estimada del plaguicida para la exposición humana diaria que no supone un riesgo de efectos adversos para la salud durante la vida del plaguicida. Valor límite calculado: Valor límite estimado de la concentración en las redes para los pescadores de subsistencia.

Contaminantes	Rendimiento analítico		Interpretación		Peces			
	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	Chronic RfD (mg/kg-d)	Valor límites calculada en los peces (mg/kg)	Bagre negro <i>Cathorops sp</i>	Liza Mugil <i>curema</i>	Pargo lunar <i>Lutjanus guttatus</i>	Pargo rojo <i>Lutjanus novemfasciatus</i>
Número de individuos					8	14	1	2
Peso medio por individuo en gramos (\pm SD)					320.8 \pm 77	33.4 \pm 6.5	1240	629.5 (\pm 75.7)
Tamaño medio por individuo en centímetros (\pm SD)					30.2 \pm 6.5	13.9 \pm 1.2	44	34 \pm 0
Peso de la muestra compuesta de filetes (g)					1352	241	720	693
Organoclorados								
Aldrin	6.10E-05	1.00E-04			Nd	Nd	Nd	Nd
Dieldrin	7.00E-05	1.20E-04	5.00E-05	2.06E-02	Nd	Nd	Nd	Nd
Endrin	8.30E-05	1.70E-04	3.00E-04	1.24E-01	Nd	Nd	Nd	Nd
Endrin aldehído	5.50E-05	1.10E-04			Nd	Nd	Nd	Nd
Endrin cetona	4.90E-05	1.00E-04			Nd	Nd	Nd	Nd
Endosulfan sulfato	6.30E-05	1.30E-04	6.00E-03	2.47E+00	Nd	Nd	Nd	Nd
Heptaclor	2.20E-05	4.00E-05	1.30E-05	5.35E-03	Nd	Nd	Nd	Nd
Heptaclor epoxido	2.20E-05	4.00E-05			Nd	Nd	Nd	Nd
Hexaclorobenceno HCB	1.07E-04	2.10E-04	8.00E-04	3.29E-01	Nd	Nd	Nd	Nd
Metoxiclor	6.70E-05	1.30E-04			Nd	Nd	Nd	Nd
p, p' -DDT	8.80E-05	1.80E-04			Nd	Nd	Nd	Nd
p,p'-DDD	3.80E-05	8.00E-05			Nd	Nd	Nd	Nd
p,p'-DDE	5.60E-05	1.10E-04			Nd	Nd	Nd	Nd
Total DDT	1.82E-04	3.70E-04	5.00E-04	2.06E-01				
α -endosulfan	1.90E-05	4.00E-05			Nd	Nd	Nd	Nd
α -HCH	4.40E-05	9.00E-05			Nd	Nd	Nd	Nd
β -endosulfan	3.00E-05	6.00E-05			Nd	Nd	Nd	Nd
β -HCH	9.70E-05	1.90E-04			Nd	Nd	Nd	Nd
γ -HCH	1.17E-04	2.30E-04	3.00E-04	1.24E-01	Nd	Nd	Nd	Nd
δ -HCH	2.50E-05	5.00E-05			Nd	Nd	Nd	Nd

Contaminantes	Rendimiento analítico		Interpretación		Peces			
	LOD (mg/kg)	LOQ (mg/kg)	Chronic RfD (mg/kg-d)	Valor límites calculada en los peces (mg/kg)	Bagre negro Cathorops sp	Liza Mugil curema	Pargo lunar Lutjanus guttatus	Pargo rojo Lutjanus novemfasciatus
Organofosforados								
Clorpirifos	5.70E-03	1.73E-02	3.00E-04	1.24E-01	Nd	Nd	Nd	Nd
Diazinón	7.00E-03	2.12E-02	7.00E-04	2.88E-01	Nd	Nd	Nd	Nd
Diclorvos	3.80E-03	1.16E-02			Nd	Nd	Nd	Nd
Etil Paratión	5.10E-03	1.55E-02			Nd	Nd	Nd	Nd
Etión	1.18E-02	3.57E-02	5.00E-04	2.06E-01	Nd	Nd	Nd	Nd
Malation	8.20E-03	2.48E-02			Nd	Nd	Nd	Nd
Metil Paratión	3.40E-03	1.04E-02			Nd	Nd	Nd	Nd
Pirimifos Metil	7.10E-03	2.14E-02			Nd	Nd	Nd	Nd
Triazofos	1.48E-02	4.51E-02			Nd	Nd	Nd	Nd

(LOQ) del laboratorio. Dado que no se han detectado los plaguicidas de interés, sólo puede descartarse un riesgo para la salud humana si el LOQ está por debajo del umbral de toxicidad. Los umbrales de toxicidad RfD (Probable No-Likely Effect Level) proceden del documento "Orientación para la evaluación de datos sobre contaminantes químicos para su uso en las advertencias sobre los peces" (US EPA, 2000). Para calcular una concentración límite en el pescado para esta relación, se utilizó la Rfd teniendo como escenario un pescador de subsistencia que come 170 (g) de filete por día y tiene una masa de 70 kg. Estos parámetros se derivaron del consumo diario y del peso de los adultos del mismo documento de la EPA de EE.UU., 2000.

La comparación entre los límites calculados y los límites de cuantificación muestra que el consumo de estos peces no supone un riesgo para la salud humana en los niveles de los organoclorados dieldrina, endrina, endosulfán, heptacloro, HCB, DDT, lindano y los organofosforados clorpirifos, diazinón y etión.

Se tomaron muestras de sedimentos en ocho lugares durante el período seco entre el 12 y el 14 de enero. Los sitios E8 y E9 están situados a lo largo del río El Aguacate y los sitios E10 a E15 están situados después de la desembocadura del río en el humedal de Garita Palmera, como se muestra en la figura 29. La siguiente tabla resume las principales características de los sedimentos muestreados y el nivel de oxígeno en la columna de agua (Tabla 26).

Todos los sedimentos muestreados contenían una proporción entre alta y muy alta de partículas finas porque los sitios muestreados están situados en zonas

de deposición con un régimen de flujo lento. La muestra de sedimento tomada en el sitio E8 (directamente aguas abajo de los cañales) es la que más se diferencia de los otros sitios con una fracción de arena más alta y una fracción de materia orgánica más baja. Los sitios con más materia orgánica se localizaron en la zona de transición entre el río El Aguacate y su entrada en el humedal de la Garita Palmera (E9, E10 y E11). Estos sedimentos también se caracterizan por un fuerte olor a azufre, lo que indica un entorno anaeróbico debido a la presencia de sulfuros de hidrógeno. Sólo el lugar situado aguas arriba contenía organismos aún visibles a simple vista. Según la última visita al lugar E8 para tomar muestras de agua (octubre), parece que el período de transición entre el final de las lluvias y el comienzo de la estación seca es el momento más favorable para el desarrollo de la vida acuática en el río con la presencia de reptiles, peces (chimbolos) y macrófitos.

La siguiente tabla (Tabla 27) resume los resultados obtenidos para el análisis de AMPA, paraquat, organoclorados, organofosforados, triazinas, metales traza y materia orgánica. Los resultados para los organoclorados se comparan con la Concentración de Efecto Umbral (TEC: Threshold effect concentrations en inglés) desarrollada para el entorno de los estuarios citada en MacDonald et al. (1996). Estos valores se complementaron con los TEC de consenso citados por (MacDonald et al. (2000) desarrollados para agua dulce y los Estándares de Efectos Tóxicos (TEB en inglés) desarrollados a partir de bioensayos de ecotoxicidad en especies epibénticas por Nowell et al. (2016). Estas guías TEB han sido estandarizadas para un contenido de materia orgánica del 10%. Para el AMPA

Tabla 26 Descripción cualitativa de los sedimentos muestreados en los distintos lugares y del nivel de oxígeno en la columna de agua.

Sitios	Descripción del sedimento	Oxígeno mg/L	
E8	Puente El Diamante	Gris oscuro, arenoso-graboso, olor feroso, presencia de peces, macrófitos	4.53
E9	Puente El Castaño	Marrón los primeros centímetros, después negro, fangoso fino, sin organismo vivo	
E10	Los Mangos	Negro, fangoso, fuerte olor azufre, sin organismo vivo	3.59
E11	El Perol	Negro, fangoso, olor de azufre, sin organismo vivo	4.68
E12	El Enganche	Gris, fango-arenoso, azofroso, sin organismo	5.47
E13	Bajo El Caballo	Gris, arenoso, azofroso, sin organismo	5.84
E14	Los Cayucos	Gris, areno-fangoso, azofroso, sin organismo	4.23
E15	El Cuje	Gris, arenoso-fangoso, sin organismo vivo	5.46

no existen criterios de calidad, por lo que se utilizó la concentración prevista sin efecto citada en Bonansea et al. (2017). A corto plazo, el riesgo del paraquat para las especies bentónicas es bajo (US EPA, 2019). Sin embargo, la duración del paraquat es muy persistente en los sedimentos (aproximadamente 30 años) y se acumula en ellos, por lo que el riesgo a largo plazo es en gran medida desconocido (US EPA, 2019). El valor guía utilizado en este estudio se calculó aplicando un factor de seguridad de 1,000¹¹ sobre la NOAEC¹² determinada en un ensayo de toxicidad a corto plazo en la especie más sensible (*Hyallela azteca*) (US EPA, 2019).

Los análisis realizados por el laboratorio detectaron paraquat en todos los 8 sitios muestrados con niveles que se mantienen entre los límites de detección y de cuantificación (tabla 27).

Los otros pesticidas buscados en el sedimento no fueron detectados. Sin embargo, sólo se puede descartar un riesgo ecotoxicológico cuando los límites de cuantificación (LOQ en la Tabla) están por debajo de los valores guía para la protección del medio ambiente. De lo contrario, no se puede descartar el riesgo. Teniendo en cuenta esta última observación, de acuerdo con los resultados presentados por el laboratorio, los niveles de concentración de AMPA, dieldrin, endrin, heptaclor epóxido, p, p'-DDT, p,p'-DDD, p,p'-DDE y γ -HCH no suponen un riesgo significativo para los organismos bénticos.

No puede descartarse un riesgo para los plaguicidas α -endosulfán, β -endosulfán, clorpirifos, metil paratión y atrazina porque los límites de cuantificación están por encima de los límites de los valores guía para la protección del medio ambiente. Tampoco es posible descartar un riesgo por presencia de paraquat porque se carece de pruebas científicas sobre los efectos a largo plazo y el valor guía utilizado es indicativo y cercano al nivel de detección.

6.5 Discusión sobre exposición a los diferentes plaguicidas

La caracterización de la exposición del medio acuático

a los plaguicidas mediante datos de concentración ambiental es muy limitada para El Salvador. Como se desprende de la búsqueda de datos existentes sobre los niveles de plaguicidas medidos en El Salvador (capítulo 6.2), la mayoría de los estudios realizados para medir los niveles de plaguicidas tienen entre 20 y 40 años de antigüedad y se centran casi exclusivamente en los organoclorados. Los siguientes subcapítulos discuten ciertas características de la exposición por plaguicida o familia de plaguicidas y las limitaciones asociadas con la caracterización de la exposición ambiental a estos plaguicidas en El Salvador.

2,4-D (2,4-diclorofenoxiacético)

El ácido 2,4-diclorofenoxiacético es el ingrediente activo más utilizado en los cultivos de El Salvador (308 toneladas) y, según las estimaciones de este informe, el segundo más utilizado en cañales (69 toneladas). Los laboratorios nacionales no disponen de medios técnicos para medir sus residuos (por ejemplo, LC-MS-MS: cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masa en tandem) en el medio ambiente y no se dispone de datos disponibles sobre la Concentración Ambiental Medida (Measured Environmental Concentration en inglés) a nivel nacional para evaluar la exposición ambiental a este ingrediente activo. Según el capítulo sobre el ciclo de producción de la caña de azúcar (capítulo 2.3.3) y las recomendaciones del distribuidor del producto comercial más utilizado (Herbamax 60 SL), el herbicida se aplica directamente a los suelos de los cultivos. Las dosis aplicadas de este herbicida en cañales son de 1,7 (café) a 3,5 veces más (sorgo) que en otros tipos de cultivos (Quilubrisa, 2017). Esto significa que la estimación de 69 toneladas de uso anual en los cañales es probablemente inferior a la cantidad realmente utilizada.

Allan et al. (2017) hicieron un monitoreo de los herbicidas en los humedales adyacentes a los campos de caña de azúcar en Queensland (Australia). Las concentraciones de 2,4-D medidas en los 7 sitios muestreados variaron desde <0,1 (ng/L) correspondiente al LOQ hasta 856 (ng/L) (Allan et al., 2017).

¹¹ de acuerdo con el documentos de orientación técnica de la comisión europea para establecer normas de calidad ambiental (EC, 2011).

¹² NOAEC : no-observed adverse effect concentration (nivel sin efecto adverso observado).

Tabla 27 Resultados de los niveles de pesticidas y metales traza medidos en los sedimentos del Río El Aguacate y el humedal de Garita Palmera.

Contaminantes	Rendimiento analítico		Interpretación	Sitios							
	LOD (µg/kg)	LOQ (µg/kg)		Valores guía (µg/kg)	E8 Puente el Diamante	E9 Puente El Castaño	E10 Los Mangos	E11 El Perol	E12 El Enganche	E13 Bajo El Caballo	E14 Los Cayocos
Aminofosfonato											
AMPA	17	53	280a	Nd	Nd	Nd	Na	Na	Na	Na	Na
Bipiridilos											
Paraquat	4	12	30e	Detectado	Detectado	Detectado	Detectado	Detectado	Detectado	Detectado	Detectado
Organoclorinados											
Aldrin	0.06	0.10		Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Dieldrin	0.07	0.12	0.72a	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Endrin	0.08	0.17	2.67b	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Endrin aldehido	0.06	0.11		Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Endrin cetona	0.05	0.10		Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Endosulfan sulfato	0.06	0.13	-	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Heptaclor	0.02	0.04		Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Heptaclor epóxido	0.02	0.04	0.6b	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Hexaclorobenceno HCB	0.11	0.21		Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Metoxiclor	0.07	0.13		Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
p, p' -DDT	0.09	0.18	1.19a	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
p,p'-DDD	0.04	0.08	1.22a	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
p,p'-DDE	0.06	0.11	2.07a	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
α-endosulfan	0.02	0.04	0.0096c	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
α-HCH	0.04	0.09		Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
β-endosulfan	0.03	0.06	0.032c	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
β-HCH	0.10	0.19		Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
γ-HCH	0.12	0.23	0.32a	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
δ-HCH	0.03	0.05		Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

Riesgos ambientales y sanitarios de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en El Salvador:

Contaminantes	Rendimiento analítico		Interpretación	Sitios							
	LOD (µg/kg)	LOQ (µg/kg)		Valores guía (µg/kg)	E8 Puente el Diamante	E9 Puente El Castaño	E10 Los Mangos	E11 El Perol	E12 El Enganche	E13 Bajo El Caballo	E14 Los Cayocos
Organofosforados											
Clorpirifos	5.70	17.30	0.041c	Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Diazinón	7.00	21.20	0.19c	Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Diclorvos	3.80	11.60		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Etil Paratión	5.10	15.50		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Etión	11.80	35.70		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Malation	8.20	24.80		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Metil Paratión	3.40	10.40	0.052c	Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Pirimifos Metil	7.10	21.40		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Triazofos	14.80	45.10		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Triazinas											
Ametrina	118	358		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Atrazina	92	280	13c	Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Simazina	118	358		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Terbutilazina	104	317		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Terbutrina	122	370		Na	Na	Na	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

a: Threshold Effect Concentrations (TEC) para el medio estuarino: por debajo del cual no se esperan efectos adversos (MacDonald et al., 1996).

b: Consensus-based Threshold Effect Concentrations (TEC) : por debajo del cual no se esperan efectos adversos (MacDonald et al., 2000).

c: Threshold Effect Benchmark (TEB) : define una concentración por debajo de la cual los efectos adversos son improbables (Nowell et al., 2016).

d: Predicted No Effect Concentration (PNEC) : concentración sin efectos previstos (Bonansea et al., 2017).

e: Valor estimado aplicando un factor de seguridad de 1000 (EC, 2011) en el parámetro toxicológico de supervivencia aguda de 10 días en el anfípodos de agua dulce *Hyallela azteca* (NOAC ((no-observed adverse effect concentration)): 30 mg/kg de peso seco) (US EPA, 2019).

Los datos de monitoreo en aguas superficiales de Canadá, Estados Unidos, Australia, Grecia, México y España citados por Islam et al. (2018) oscilaron entre 0,05 µg/L para el lago de Chapala en México (Reynoso et al., 2014) hasta 12 µg/L para aguas urbanas en las principales ciudades de California (Ensminger et al., 2013, pp. 2008-2011). Esto sugiere que las concentraciones reales en el agua y sedimentos de la zona investigada son probablemente mayores que los niveles de no detección reportados en este trabajo.

Diuron

Según la estimación realizada en este informe, el diuron es el herbicida más utilizado en cañales (63,3 toneladas) y el 5º más utilizado en el país (69,6 toneladas). No se dispone de datos sobre las concentraciones ambientales en El Salvador y en la actualidad los laboratorios nacionales no pueden medir sus residuos. El diuron puede aplicarse una vez antes de la aparición de las malas hierbas, y también después de su aparición. Su tasa de aplicación en la caña de azúcar es 3,3 veces superior a la del maíz cuando se utiliza en preemergencia y 2.6 veces superior a la del maíz en postemergencia (se aplican después de la emergencia o germinación del cultivo) en los cañales (Adama, 2011).

Lewis et al, 2009 llevaron a cabo un amplio seguimiento entre 2005 y 2008 en 3 zonas de captura del Gran Arrecife de Coral en Australia. Se prestó especial atención a la influencia del uso del suelo, incluidos los campos de caña de azúcar, en los residuos de plaguicidas encontrados en las 600 muestras recogidas en los 76 lugares muestreados. Los herbicidas más frecuentemente analizados en los sitios de drenaje del cañal son el diuron (concentraciones medias 2005-2008 entre los sitios 0,07-2,69 µg/L), la atrazina (0,05-0,77 µg/L), la hexazinona (0,01-0,54 µg/L) y la ametrina (S. E. Lewis et al., 2009).

Glifosato y ácido aminometilfosfónico (AMPA)

A nivel nacional, el glifosato es la segunda molécula más utilizada en El Salvador (250 toneladas) y se estima que es la tercera molécula más utilizada en cañales (50 toneladas). Su uso es de postemergencia en las malas

hierbas en dosis similares a las de otros cultivos y debe aplicárseles directamente para no dañar los cultivos. En cañales, también se aplica en precosecha por avión como agente de maduración en dosis menores (0,75-1,5 L/Mz) que para el control de malas hierbas (1-5 L/Mz). Sin embargo, la aplicación aérea de este plaguicida aumenta sustancialmente la deriva del viento, lo que expone directamente a los ecosistemas en su alrededor y a los trabajadores.

Dos laboratorios son capaces de medir el glifosato en El Salvador y un laboratorio es capaz de medir también su producto de degradación AMPA. Las 2 muestras de agua tomadas en el río El Aguacate durante la temporada de lluvias para el análisis del glifosato en el agua no detectaron estas moléculas. El límite de detección del glifosato en este laboratorio es de 21 µg/L.

En las aguas fluviales, el glifosato se detecta en concentraciones bajas, incluso en ríos adyacentes al campo de soja transgénica en Argentina (100- 700 µg g/L, 5 sitios) (Peruzzo et al., 2008), en ríos de los Estados Unidos (mediana de 0,03 µg/L, máximo 476 µg/L 1826 sitios) (Struger et al., 2008), en lagos de Suiza (0,015-0,035 µg/L, 2 sitios) o en ríos y arroyos de Canadá (media < 17 µg/L, máximo 40,8 µg/L, 500 sitios) (Hanke et al., 2008). Estos resultados pueden explicarse por el hecho de que el glifosato tiende a sorberse en los suelos y degradarse rápidamente (el suelo DT50 es de 15 días) a AMPA.

Por esta razón, se analizó el AMPA en los sedimentos en tres sitios a lo largo del río El Aguacate durante el período seco. El límite de detección del AMPA en los sedimentos del laboratorio contratado era de 17 µg/kg y no se detectó en las muestras. Investigaciones similares en los sedimentos del Río Suquía (Córdoba, Argentina) en zonas urbanas y áreas de agricultura intensiva mostraron concentraciones entre <LOD (debajo de límites de detección) a 261 µg/kg de AMPA en el sedimento (Bonansea et al., 2017). Según estudio similar, para obtener un monitoreo más representativo de la contaminación por glifosato y AMPA en el Río El Aguacate, se deberían tomar muestras de sedimento al menos 4 veces durante el año por duplicado. La extracción de los residuos para los análisis debe realizarse también en sedimento fresco para evitar posibles pérdidas de estos productos durante el secado.

Neonicotinoides

El imidacloprid es el insecticida de esta familia de plaguicidas utilizado en los cañales en una cantidad estimada de 2,7 toneladas de sustancias activas del total de 22,3 toneladas consumidas. Las dosis recomendadas en los cultivos alimentarios del producto comercial más utilizado (Bayfidan Duo) que contiene imidacloprid son las mismas para la caña de azúcar que para la patata o el arroz (35-52,5 kg/mz).

Según la búsqueda bibliográfica, no se han publicado datos sobre las concentraciones de neonicotinoides en El Salvador. Esto podría explicarse por el hecho de que no hay laboratorio habilitado para medirlos en El Salvador. Esto es especialmente preocupante ya que los tres neonicotinoides imidacloprid, clotianidina y tiametoxam han sido prohibidos para su uso en exteriores en Europa desde 2018 por sus probables implicaciones en la desaparición de las abejas (CE, 2017).

Se investigaron los neonicotinoides en suelos, sedimentos y aguas de la zona costera de Belice, donde se cultivan caña de azúcar, melón, plátano y sorgo (Bonmatin et al., 2019). De las 107 muestras analizadas, la frecuencia de detección de neonicotinoides fue del 68% en suelos, del 47% en sedimentos y del 12% en aguas. El neonicotinoide más frecuentemente medido en los sedimentos es el imidacloprid, con concentraciones medias de 0,068 µg/kg. Los límites de detección de esta investigación están entre 0,002 y 0,02 ng/kg (peso seco).

Organoclorados

La importación, distribución y comercialización de la mayoría de los plaguicidas organoclorados fue prohibida en El Salvador en 2001 mediante el Acuerdo No. 151 (MAG, 2000, p. 52). Sólo el endosulfán sigue estando permitido en determinados cultivos. Según los datos de importación, este año se han utilizado 1,416 litros de productos comerciales que contienen este plaguicida, pero este producto no está destinado a utilizarse en los cultivos de azúcar.

Los límites de detección de organoclorados en estos análisis oscilan entre 0,02 µg/kg y 0,12 µg/kg para los

sedimentos y el pescado analizados, respectivamente. Las 8 muestras de sedimentos analizadas y las 4 muestras de peces analizadas no mostraron concentraciones por arriba de los niveles de detección.

Los únicos datos disponibles para esta zona de estudio son los de la cuenca del río Cara Sucia, adyacente a la microcuenca de El Aguacate. Las mediciones realizadas en 1981 en el río Cara Sucia habían mostrado concentraciones preocupantes de aldrina/dieldrina, DDT, Heptaclor y BHC (Calderón, 1981). En 1991, los análisis de sedimentos y peces (lisas y bagres) realizados en el humedal aguas abajo del río Cara Sucia y Barra de Santiago, también habían mostrado concentraciones preocupantes de dieldrina, BHC y productos de degradación del DDT. Sin embargo, los análisis de sedimentos realizados en 2004 en los sedimentos de la zona costera de El Salvador, incluyendo 4 estaciones perpendiculares a la Barra de Santiago, no habían detectado organoclorados. Los resultados de los análisis de Garita Palmera no son extrapolables a la Barra de Santiago. Sin embargo, los resultados obtenidos para los sedimentos y los peces tienden a mostrar que las concentraciones de organoclorados ya no son potencialmente una preocupación importante en esta zona concreta porque sus ingredientes activos están prohibidos desde hace veinte años y sus concentraciones residuales en el medio ambiente tienden a disminuir. Como se cita en Carvalho et al. (2002), los organoclorados fueron en gran parte mediados por los organofosforados o los carbamatos (no medidos en este estudio), que deberían ser de mayor preocupación para la vigilancia.

Organofosforados

El clorpirifos es el insecticida organofosforado de interés para esta investigación porque es el segundo insecticida más utilizado a nivel nacional (24 toneladas) y el primero en los campos de caña de azúcar (3,3 toneladas). Las dosis utilizadas de los productos comerciales que contienen clorpirifos y que se destinan al cultivo de la caña de azúcar se encuentran, según las recomendaciones de los vendedores, en el mismo rango de valores (entre 60-92 libras/Mz).

No se detectó clorpirifos en las aguas ni en los

sedimentos del río El Agacate y del humedal de Garita Palmera. Los límites de detección del laboratorio que realizó los análisis son de 6 ($\mu\text{g/L}$) en el agua y de 5,7 ($\mu\text{g/kg}$) en los sedimentos.

Los análisis de la concentración de clorpirifos encontrados en los arroyos de la región agrícola de Pampa Humeda (Argentina) citados por Álvarez et al. (2019), muestran que el percentil 75 de las 109 muestras en las que se detectó este plaguicida (total de 193 muestras), está entre 0,0005 $\mu\text{g/L}$ y 0,0979 $\mu\text{g/L}$. Tales concentraciones no podrían haberse detectado con los medios analíticos de esta investigación.

Una investigación similar se llevó a cabo en el ecosistema de manglar-laguna de Altata-Ensenada del Pabellón (Estado de Sinaloa, México) en una zona de captación (360 km^2) dominada por la producción de azúcar y los cultivos de hortalizas (Carvalho et al., 2002). También se tomaron muestras de sedimentos en ocho lugares de un total de 35. Todas las muestras revelaron la presencia de clorpirifos en concentraciones entre 0,4 y 8 $\mu\text{g/kg}$. Según este autor, el clorpirifos en el sedimento tiene un DT50 (160 días) lo suficientemente prolongado como para acumularse en el sedimento y formar un depósito (Carvalho et al., 2002). Sin embargo, se observó una variación estacional en las concentraciones de clorpirifos dependiendo de si los agricultores habían aplicado clorpirifos recientemente o no.

Más recientemente, se han realizado investigaciones en la microcuenca Quebrada La Mula (Costa Rica), en la que predominan los cultivos de arroz y caña de azúcar (Carazo-Rojas et al., 2018). La campaña de medición en esta microcuenca se realizó tres veces al año durante 5 años. El clorpirifos se detectó una vez en el agua en 135 muestras y dos veces en el sedimento en 129 muestras con concentraciones de 0,258 y 18,240 $\mu\text{g/kg}$ (Carazo-Rojas et al., 2018).

Paraquat

El paraquat es el tercer ingrediente activo más utilizado en El Salvador (199 toneladas) y el quinto más utilizado en la producción de azúcar (29 toneladas). Su pérdida de eficacia y el aumento de la tolerancia de las malas hierbas a su toxicidad hace que los azucareros hagan un mayor uso de herbicidas como el 2,4-D, el diuron

o el glifosato (Carlos*, 2019). La tasa de aplicación del producto comercial más comúnmente aplicado que contiene paraquat es la misma entre los cultivos (3 L/Mz) (Quilubrisa, 2004).

El paraquat no se encontró en ninguno de los tres pozos muestreados. En estudios anteriores realizados en las comunidades de Las Brisas San Miguel (El Salvador), se encontraron concentraciones de paraquat en pozos domésticos a niveles muy preocupantes (de 4 a 28 veces los niveles toxicológicos) (A. López et al., 2015). Las comunidades de Las Brisas están rodeadas de cultivos de maíz para los cuales el uso de paraquat todavía está extendido, en contraste con los cañales donde se utilizan herbicidas más eficaces (2,4-D y diuron) (Carlos*, 2019). También debe observarse que el paraquat tiene una mayor tendencia a absorberse en el suelo y luego deambular por los ríos y no tiene la tendencia a filtrarse en los acuíferos. De los 971 pozos muestreados entre 1983 y 1990 en los Estados Unidos, sólo 11 pozos en acuíferos permeables estaban contaminados (US EPA, 2013).

En cuanto a las aguas de superficie, según los datos de vigilancia de los Estados Unidos citados en Judkins & Wente (2019), este herbicida es raramente detectado. De acuerdo con la base de datos del Portal de Calidad del Agua de los EE.UU., el paraquat solo se detectó en el agua 14 veces de 1381 resultados publicados (64 sitios) en concentraciones entre 0,24 y 3,6 $\mu\text{g/L}$. Estos datos deben ponerse en perspectiva con el hecho de que la detección de plaguicidas en los ríos depende de los intervalos de tiempo y la frecuencia de las mediciones, como se explica en la sección de metodología. Por ejemplo, se midió periódicamente el paraquat (67,7% de las 68 muestras) en los ríos de la provincia de Mai Chau en Vietnam (Thi Hue et al., 2018) con concentraciones entre 4,70 y 134,08 $\mu\text{g/l}$. Las técnicas analíticas utilizadas por Thi Hue y otros son también entre 233 y 700 veces más sensibles que las utilizadas en esta investigación. Las concentraciones de paraquat en los ríos de Vietnam fueron mayores durante la estación seca debido a la evaporación del agua, lo que hace que las concentraciones de paraquat sean mayores. Actualmente, El Agacate es un río estacional que sólo fluye a través de los manglares de Garita Palmera durante la estación húmeda. Entonces no es posible monitorearlo en verano.

Se detectó paraquat en los 8 sitios muestreados, pero en concentraciones inferiores al límite de cuantificación. Se desconocen en gran medida los efectos a largo plazo de la exposición de las especies bentónicas de este herbicida (US EPA, 2019). Los resultados de los bioensayos de toxicidad de sedimentos en laboratorio muestran que los crustáceos (*Hyallela azteca*) son más sensibles que los insectos (*Chironomus riparius*) al paraquat (US EPA, 2019).

Debido a su alto nivel de uso y persistencia (más de 30 años), el paraquat debe ser monitoreado en los suelos y sedimentos del país para conocer el nivel, dimensión y el alcance de la contaminación.

Triazinas

Las triazinas son un grupo muy importante de sustancias químicas que hay que controlar en las zonas de cultivo de azúcar. Según las estimaciones de este informe, las plantaciones de azúcar consumen 30,1 toneladas de ametrina (de las 46,6 toneladas consumidas en total en el país), 21,1 toneladas de terbutrina (de las 24,8 toneladas consumidas en total) y 2,1 toneladas de atrazina (de las 108 toneladas consumidas en total).

De acuerdo con las búsquedas bibliográficas realizadas, no se han publicado datos de concentraciones de triazinas para El Salvador, a pesar de que es un contaminante de alta respuesta en los países donde se ha medido. Las concentraciones medidas en los tres pozos analizados y en las 5 muestras de sedimentos están en concentraciones inferiores a los límites de detección de 138 µg/L (ametrina), 92 µg/L (atrazina) y 122 µg/L (terbutrina).

La atrazina es un contaminante muy extendido en aguas y acuíferos. Las mayores concentraciones se encuentran en los sedimentos. En los acuíferos, se encontró en el 41% de los pozos analizados en Iowa (EE.UU.) y su producto de degradación (deethylatrazine) en el 35% de los casos (Kolpin et al., 1997). Sin embargo, los límites de detección eran 1,840 veces inferiores a los de este estudio. En las 837 muestras de agua de pozo recogidas por Kolpin et al. (1996), la concentración media fue de 0,15 µg/L.

Miles & Miles & Pfeuffer (1997) realizó un seguimiento

en 26 estaciones de muestra en los canales de riego de los cultivos de caña de azúcar, cítricos y hortalizas en el sur de Florida (lago Okeechobe). De los 70 plaguicidas y productos de degradación analizados, las triazinas fueron los plaguicidas más frecuentemente detectados (ametrina 117, atrazina 274 veces de 744 detecciones). Los valores más altos se midieron en los sedimentos con concentraciones máximas de 100 µg/kg de ametrina y 50 µg/kg de atrazina. Los límites de detección en esta investigación de triazinas fueron de 1,6 µg/kg (Miles & Pfeuffer, 1997)

Como se citó anteriormente en el estudio de Lewis et al. 2009 en Australia, las triazinas son el grupo más común de sustancias encontradas en los sitios de cañal aguas arriba de los ecosistemas costeros. Las concentraciones medias reportadas en esta investigación (600 muestras) son de 0,05-0,77 µg/L para la atrazina, 0,01-0,54 µg/L para la hexazinona y la ametrina (concentración no especificada) (S. E. Lewis et al., 2009).

6.6 Conclusiones

De acuerdo con la investigación bibliográfica realizada para recopilar los datos existentes sobre los niveles de contaminación inducidos en el medio ambiente por el uso de plaguicidas en El Salvador, es evidente que se han hecho muy pocos esfuerzos para investigar este tema en los últimos 30 a 40 años. En los años 80 y 90, los estudios realizados en los ecosistemas costeros informaron de una contaminación muy preocupante en las aguas, los sedimentos y la biota (moluscos, camarones, peces, etc.) de ciertos insecticidas organoclorados bioacumulables y cancerígenos. En los últimos años, el uso de pesticidas se ha intensificado en El Salvador y se debería esperar un nivel de contaminación probablemente más alto que en el pasado. El decreto publicado en abril de 2001 (nº 151), restringió casi por completo el derecho a importar, distribuir y comercializar la mayoría de los plaguicidas organoclorados, excepto el endosulfán. En 2006, un estudio de los sedimentos en las zonas costeras de El Salvador reveló niveles indetectables de concentraciones de organoclorados (Barraza, 2003). En esta investigación se obtuvieron resultados similares a nivel de contaminación por organoclorados en 4 especies diferentes de peces y 8 muestras de sedimentos en el humedal de Garita Palmera.

La mayor preocupación destacada en esta investigación es la total falta de datos disponibles sobre los niveles de contaminación que plaguicidas actualmente utilizados en El Salvador generan en los acuíferos, ríos, lagos, sedimentos y suelos del país.

La campaña de muestreo preliminar llevada a cabo en esta investigación ha permitido señalar los distintos fallos o desafíos que explican esta grave falta de seguimiento y acceso a la información.

En primer lugar, sólo tres laboratorios están autorizados a realizar análisis de un número limitado de plaguicidas. Desgraciadamente, no hay ningún laboratorio de grupo de investigación independiente que no tenga intereses políticos, que no responda a los intereses económicos de este gremio o donde los análisis que se le piden no supongan un riesgo de conflicto de intereses. Aunque la integridad científica de estos laboratorios puede ser preservada, la confianza depositada en ellos por las distintas partes interesadas en el medio ambiente es escasa.

En segundo lugar, los medios analíticos de que disponen los laboratorios no permiten analizar la mayoría de los ingredientes activos utilizados en el país, por ejemplo, en los cultivos de azúcar. De hecho, sólo 6 ingredientes activos de los 39 registrados para los cultivos de caña de azúcar pudieron ser analizados en la práctica. Esto es problemático teniendo en cuenta que, por ejemplo, los productos más aplicados en el país y en cañales como el 2,4-D, el diuron, el imidacloprid o el terbufos no pueden ser monitoreados. En la tabla 32 del anexo 11.4 se indican las sustancias que deben medirse prioritariamente en cañales según su peligrosidad y exposición.

En tercer lugar, en el capítulo anterior, "Discusión sobre exposición a los diferentes plaguicidas", se mostró, a través del ejemplo de los pocos análisis realizados en esta investigación, que los métodos analíticos disponibles no tienen la sensibilidad necesaria para detectar y controlar los residuos en matrices

ambientales (aparte de los organoclorados y del paraquat). Esto demuestra la necesidad de invertir los recursos necesarios para adquirir y formar al personal en equipos más eficaces (por ejemplo, LC-MS-MS: cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masa en tándem) con el fin de controlar los niveles de contaminación en el país. También es esencial que los métodos analíticos utilizados, incluidas las técnicas de preparación, extracción y análisis de las muestras, se basen en métodos normalizados reconocidos por las organizaciones internacionales. Debe evitarse que cada laboratorio desarrolle sus propias técnicas, ya que esto limita la comparabilidad de los resultados entre laboratorios.

Los análisis de sedimentos del Río El Aguacate y de toda la zona del humedal de Garita Palmera han demostrado la presencia de paraquat. La presencia de este herbicida en toda el Área Natural Protegida es preocupante porque el paraquat es muy persistente y no se conocen sus efectos a largo plazo sobre los organismos bénticos.

Una gran cantidad de investigaciones científicas ha demostrado que los residuos de plaguicidas se encuentran efectivamente en los ecosistemas adyacentes a los cañales, como los manglares, los ecosistemas costeros y los arrecifes de coral.

Según investigaciones realizadas en otros países, los plaguicidas más frecuentemente medidos en los ecosistemas costeros aguas abajo de los cañales son principalmente herbicidas, como el diuron, la atrazina, la hexazinona y el ametrina, pero también los insecticidas clorpirifos e imidacloprid (Bonmatin et al., 2019; Carvalho et al., 2002; S. E. Lewis et al., 2009; Miles & Pfeuffer, 1997).

El capítulo 8 abordará los efectos ecotoxicológicos de estos diferentes plaguicidas en los ecosistemas costeros de los manglares. También se analizará la evaluación del riesgo químico de las mediciones realizadas en la zona de Garita Palmera.

7

Efectos y evaluación de riesgos para la salud humana



7.1 Introducción

La recopilación de los efectos observados en la salud y el medio ambiente y la evaluación de los riesgos son los últimos pasos después de la identificación del peligro y la caracterización de la exposición. Los objetivos de este capítulo son:

1. Calcular los cocientes de riesgo para la salud de las personas que aplican plaguicidas en los cañales.
2. Recopilar los efectos agudos y crónicos sobre la salud descritos por los aplicadores de plaguicidas en El Salvador.

7.2 Metodología

7.2.1 Cálculo del cociente de riesgo para los aplicadores de plaguicidas

El modelo de evaluación de la exposición humana a la fumigación con insecticidas (WHO, 2010a) de la Organización Mundial de la Salud se aplicó para caracterizar el riesgo para los aplicadores de plaguicidas. Las variables del modelo se complementaron con la información recogida de los aplicadores y los valores de la literatura.

Hay tres etapas críticas de exposición durante la aplicación, entre ellas (WHO, 2010a):

1. Mezcla y carga de la formulación de plaguicidas.
2. Aplicación del plaguicida mediante la bomba rociadora de mochila.
3. Lavado y mantenimiento de la bomba rociadora de mochila.

El modelo de exposición de la OMS (WHO, 2010a) se aplicó sobre la base de los principios activos comúnmente más utilizados (2,4-D) y su ingrediente activo complementario recomendado por algunos distribuidores (atrazina) (Bayer CropScience, 2019). Los herbicidas se han tomado como ejemplo porque son los productos más utilizados en la caña de azúcar (Reis et al., 2019). Los trabajadores a los que la UNES entrevistó, informaron del uso de los herbicidas con los nombres comerciales Gesaprim (atrazina 90WDG), Karmex (Diuron 80WG), Tordon (Picloram 6.4 SL, 2,4-D 24SL), Hedonal (2,4-D 60 SL) y Randup (Glifosato). Según los entrevistados, estos productos se utilizan en mezcla con hasta 4 productos diferentes en la misma preparación (Eleonor*, 2019).

El 2,4-D se vende en forma líquida a una concentración de 600 g/L (Hedonal 60L, Herbamax 60 SL, Palanka 60 SL, Elimina 60L, Totem 60 SL) y la atrazina en forma sólida a una concentración de 900 g/Kg (Gesaprim 90WDG) (MAG, 2019a).

Para cada paso desde la preparación hasta la aplicación de plaguicidas, consideramos una persona de 60 kg, para incluir a la mayoría de las mujeres que también hacen este trabajo. (WHO, 2010a). Las personas que aplican plaguicidas a los cultivos de caña de azúcar lo hacen durante tres meses del año y 6 días a la semana

(Damien*, 2019; Eleonor*, 2019). Esto corresponde a 72 días de aplicación de plaguicidas en los cultivos de caña de azúcar por año. Los trabajadores aplican los plaguicidas durante 4 o 5 horas al día. Se observó que esto no corresponde al "peor de los casos" en el sentido de que los trabajadores de los cultivos de caña de azúcar mantienen sus propios campos de frijoles o milpa (Maximus*, 2019). Las/os operadoras/es han estado trabajando desde los 18 años de edad, y algunos empezaron más jóvenes cuando las normas internacionales de trabajo de la OIT (Organización Internacional del Trabajo) todavía no habían establecido el límite de edad mínima. A los trabajadores se les proporcionan botas, pantalones, camisa de manga larga y gorra. Usan una bomba de mochila. Ninguna de las personas entrevistadas mencionó el uso de trajes protectores de algodón con capa repelente al agua, delantal impermeable, guantes, lentes de seguridad de policarbonato o mascarillas. También se informó que las/os operadoras/es trabajan con mezclas de plaguicidas. Estos resultados están en línea con el estudio cuantitativo realizado en el Bajo Lempa (Mejía et al., 2014).

El primer paso en un día de aplicación es la preparación del barril de 250 litros de la mezcla que se aplicará en el campo sin ningún equipo de protección adicional como botas, camisa de manga larga y pantalones (Carlos*, 2019; Damien*, 2019; Eleonor*, 2019). Las manos del operador se exponen entonces a los productos concentrados. Para el modelo asumimos que el operador prepara el barril una vez al día a partir de los productos concentrados, de modo que la Dosis Sistémica Prevista (DSP) para esta persona se calcula según la ecuación (WHO, 2010a):

$$DSP \left(\frac{\text{mg ingred.act.}}{\text{kg pes.corp.*día}} \right) = \frac{VF_{\text{dermal}} (\text{mL}) * CF \left(\frac{\text{mg}}{\text{mL}} \right) * A * DE (\text{días})}{(PC(\text{kg}) * TP(\text{días}))} \quad (1)$$

VF_{dermal} : Volumen de formulación en las manos (8.4 mL) multiplicado por el número de barriles preparado (1)

CF: Concentración del ingrediente activo (IA.) en la formulación (600g/L 2,4-D)

DE: Duración de la exposición en días (72d)

A: Absorción dérmica (10%)

PC: Peso corporal (60 kg)

TP: Tiempo promedio (1 año=365 días)

En segundo lugar, el operador tiene que llenar su bomba rociadora de mochila de 20 litros 12 veces con el barril de 250 litros por día (Carlos*, 2019). La ecuación es la misma (que 1) pero VF_{dermal} es igual a 8,4 mL más 12 cargas y la CF también cambia al diluirse el producto en 250 l. Según el vendedor, se recomienda añadir 3,3 kg/ha (2,32 kg/Mz) de Gesaprim 90WDG (SYNGENTA AGRO S.A., 2015) que equivale a 2,1 kg de atrazina por manzana y 2,45 (l) de Hedonal 60 SL por manzana (Bayer CropScience, 2019) que asciende a 1,47 kg/Mz de 2,4-D. Según los entrevistados, se rocía un barril de 250 (l) en una manzana. Si el operador respeta la dosis recomendada, entonces esto equivale a una concentración (CF) después de la dilución en los

250 l de 5.88 g/l de 2,4-D ($2.45 \text{ (l)} * 600 \text{ (l)} * 250 \text{ (l)}^{-1}$) y 8.4 g/l d'atrazine ($2.1 \text{ (kg/Mz)} * 250 \text{ (l/Mz)}^{-1}$).

En tercer lugar, cuando se aplica al aire libre con una bomba rociadora de mochila de mano, la vía de inhalación de la exposición se considera insignificante debido a la baja volatilidad de estos productos (WHO, 2010a). En las entrevistas, las/os operadoras/es informan de que se empapan después de la aplicación y se queman la espalda por la irritación de las fugas del equipo. Las manos (840 cm²), los antebrazos (1,140 cm²) y la espalda (3,550 cm²) corresponden a un área total de 5,530 (cm²) cubierta por una película de 0,01 cm (55,3 ml).

$$DSP \left(\frac{\text{mg ingred.act.}}{\text{kg pes.corp.*día}} \right) = \frac{VA_{\text{dermal}} \text{ (mL)} * CA \left(\frac{\text{mg}}{\text{mL}} \right) * A * DE \text{ (días)}}{(PC \text{ (kg)}) * TP \text{ (días)}} \quad (2)$$

VA_{dermal} : Volumen de aerosol sobre el cuerpo (55.3 ml) por día

CA: Concentración del ingrediente activo (IA.) en el aerosol

DE: Duración de la exposición (72d)

A: Absorción dérmica (10%)

PC: Peso corporal (60 kg)

TP: Tiempo promedio (1 año=365 días)

Para interpretar el DSP, se utilizó el AOEL (nivel de exposición aceptable del operador) para ambas sustancias activas. El AOEL se define como la dosis máxima a la que un operador puede estar expuesto sin efectos adversos para la salud (91 /414/CEE, 1991). Los efectos adversos para la salud que se utilizan para derivar estos criterios de valoración toxicológica también deberían proteger contra criterios de valoración como la neurotoxicidad, la toxicidad reproductiva y la carcinogenicidad no mutagénica (de Heer et al., 2007).

El AOEL para 2,4-D es igual a 0.02 (mg ingrediente activo/ kg p.c. por día) (EC, 2019a) y de 0.01 (mg ingrediente activo/ kg p.c. por día) para la atrazina (K. Lewis et al., 2016).

De esta manera es posible calcular el cociente de riesgo (CR) para el operador durante estos tres meses de trabajo de aplicación de plaguicidas en los cultivos de caña de azúcar (WHO, 2010a):

$$CR = \frac{DSP_{2,4D}}{AOEL_{2,4D}} + \frac{DSP_{\text{atrazina}}}{AOEL_{\text{atrazina}}} \quad (3)$$

Un cociente de riesgo < 1 significa que el riesgo para las/os operadoras/es es aceptable. Un cociente de riesgo > 1 significa que incurren en un riesgo para su salud (WHO, 2010a).

7.2.2 Efectos agudos y crónicos sobre la salud comunicados en El Salvador

La recopilación de los efectos notificados durante el uso de plaguicidas en los campos se basa principalmente en los testimonios de aplicadoras/es entrevistados. Estos testimonios se apoyaron en datos cuantitativos de investigaciones anteriores en El Salvador.

7.3 Resultados

7.3.1 Riesgos para las/os aplicadoras/es de plaguicidas

La Dosis Sistémica Prevista (mg ingrediente activo/kg p.c.*día) calculadas sobre 72 días de trabajo por año con una bomba de mochila para los trabajadores de la caña de azúcar son presentados en la tabla 28.

La siguiente tabla (tabla 29) presenta los resultados del cálculo del cociente de riesgo de la persona aplicadora descrito en la ecuación (3), teniendo en cuenta la Dosis Sistemática Prevista y el nivel de exposición aceptable de esta persona. Este cociente de riesgo no debe superar el valor de 1.

Los cocientes de riesgo de la preparación del barril, el llenado de la bomba rociadora de mochila y durante la aplicación sobre el terreno son de 98 a 157 veces el nivel aceptable. Esta estimación no tiene en cuenta las actividades auxiliares que estas/os operadoras/es podrían llevar a cabo con los plaguicidas como para su propia producción de alimentos. En esta estimación tampoco se tiene en cuenta la exposición debida al consumo de agua o alimentos contaminados durante el año.

7.3.2 Efectos agudos sobre la salud humana

Los efectos agudos comunicados por trabajadoras/es comunitarias/os al final de una jornada de trabajo de aplicación de plaguicidas son irritación de la piel, quemaduras en la espalda, fatiga grave, a veces náuseas y vómitos (Damien, 2019; Eleonor, 2019).

“Quemazón agarra en la piel, en la noche pica la espalda. Pero también han salido personas envenenadas de ahí y no responden ni nada. De los riñones ya varios se murieron.”

(Eleonor*, 2019 colaboradora agrícola, aplicadora de plaguicidas).

Tabla 28 Dosis Sistémica Prevista (mg ingrediente activo/ kg p.c.*día) calculada según las ecuaciones (1) y (2) y el escenario (trabajando con 2,4-D y atrazina) descrito en la metodología para las tres fases de trabajo en cañales donde los operadores están en contacto directo con los plaguicidas.

	Preparación del barril	Carga de las bombas rociadoras de mochila	Aplicación en el campo	Total
2,4-D	1.66	0.19	1.28	3.13
Atrazine	sólido	0.28	0.70	0.98

Tabla 29 Cociente de riesgo calculado para las/os operadoras/es comunitarias/os que aplican plaguicidas en los campos de caña de azúcar utilizando el ejemplo de una mezcla de dos herbicidas de uso común.

	Preparación del barril	Carga de las bombas rociadoras de mochila	Aplicación en el campo	Total
2,4-D	83	10	64	157
atrazina	-	28	70	98

Un trabajador informó que perdió la conciencia durante la aplicación y fue transportado al hospital (Eleonor*, 2019). Cabe señalar que algunos de estos síntomas también pueden haberse visto amplificadas por las agotadoras condiciones de trabajo inducidas por el esfuerzo físico, la permanente exposición al sol y la deshidratación durante las 4 o 5 horas de aplicación. Las/os trabajadoras/es informaron que bebían poca agua (<2L) ya que no podían llevar una botella de agua durante la aplicación (Eleonor, 2019).

“Fíjese que yo anduve un tiempo fumigando y ya en verano me enviaron a la caña, ahí me iba a morir. Ahí por el rancho donde llegamos, una parte donde era arenosa y caliente, y pues claro como el cuerpo tiene quizás un residuo de veneno, se siente fatigado. Como a las 2 de la tarde caí con calambre y vómito, me empezaron a inyectar suero e inyección para el vómito. Ya me moría, me engarrotaba todo.”

(Eleonor*, 2019 colaboradora agrícola, aplicadora de plaguicidas).

Las comunidades vecinas nos informaron de olores fuertes, picazón en las fosas nasales y síntomas de resfriado cuando los plaguicidas se aplicaron por avión (Aline*, 2019; Berta*, 2019; Osa*, 2019; Pascal*, 2019). Se informó de un caso de envenenamiento agudo de un niño rociado accidentalmente por un avión (Pascal*, 2019). Se informó que las causas de su coma y luego de su hospitalización fueron multifactoriales (Pascal, 2019). En la bibliografía se han notificado casos similares de intoxicación en la comunidad tras la aplicación aérea de un plaguicida, como la aplicación aérea de paraquat en California (Ames et al., 1993). En un estudio realizado en 11 estados de los Estados Unidos se informó de 2,945 casos de envenenamiento agudo que fueron causados únicamente por la aplicación de los plaguicidas en los años 1998 a 2006 (Lee et al., 2011). Del total de casos, el 14% de estas intoxicaciones afectaron a niños y el 24% se debieron a la fumigación aérea (Lee et al., 2011).

En El Salvador, con respecto a los efectos agudos debidos a los plaguicidas, entre 2012 y 2015, el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica del gobierno de El Salvador reportó 5,988 casos de intoxicación

aguda por plaguicidas (Quinteros & López, 2019). Esto corresponde en promedio a una tasa de incidencia de 94.6 casos de intoxicación por cada 100,000 habitantes. En promedio, en estos 4 años de estudios, el 48% de los casos de intoxicación son intentos de suicidio, el 24.6% de intoxicaciones accidentales y el 26.9% de intoxicaciones en el lugar de trabajo, es decir, 25.5 casos por cada 100,000 habitantes (Quinteros & López, 2019). En la literatura científica, los valores más bajos se reportan como 18.2 casos por cada 100,000 habitantes para los países en desarrollo (Calvert et al., 2004) con valores de 17.8 para Tailandia y 17 para Belice (Thundiyl et al., 2008).

En El Salvador, los principales ingredientes activos responsables de la intoxicación en el lugar de trabajo son los bupiridilos (paraquat) con el 33.3% de los casos y los organofosforados (metil paratión, terbufos) con el 33.6% de los casos seguidos de los carbamatos (metomil) con el 12.2% y los piretroides (cipermetrina) con el 7.1% de los casos (Quinteros & López, 2019). En general, la mayor cantidad de intoxicados por plaguicidas coincide con el período de cultivos agrícolas (Quinteros & López, 2019).

7.3.3 Efectos crónicos sobre la salud humana

Según la búsqueda de literatura sobre los efectos crónicos del uso de plaguicidas en la salud de la población salvadoreña, parece que sólo hay investigaciones que establecen una probable relación entre la enfermedad renal crónica (ERC) y el uso de plaguicidas. La principal función de los riñones en el cuerpo humano es filtrar la sangre para extraer las toxinas y el exceso de agua para producir la orina. (NIDDK, 2017). La enfermedad renal crónica (ERC) es una enfermedad que se desarrolla lentamente y durante un largo período de tiempo (NIDDK, 2017). Se caracteriza por *“una caída de la tasa de filtración glomerular por debajo de 60 ml/min/1.73 m² y/o la presencia de daño renal estructural (proteinuria, enfermedad poliquística...) durante más de 3 meses”* (Lidsky-Haziza & Bouatou, 2017). Esta enfermedad incluye diferentes etapas de I a V dependiendo del nivel de la tasa de filtración glomerular y las concentraciones de albúmina en la orina (Lidsky-Haziza & Bouatou, 2017; UMVF, 2014). Sólo las etapas III a V se describen como insuficiencia renal crónica (IRC) (UMVF, 2014).



En América Central, la Organización Panamericana de la Salud (OPS) ha estimado que entre 1997 y 2013, 60,000 personas murieron de insuficiencia renal, entre ellas 22,537 en El Salvador (Hoy et al., 2017). Los factores de riesgo tradicionales de esta enfermedad son la diabetes, la hipertensión, las enfermedades cardiovasculares y los antecedentes familiares (NIDDK, 2017; Ribó Arnau et al., 2014).

“Uno ya queda arruinado, el cuerpo queda con ese residuo. Cuando me fatigo ya siento que me da vómito, entonces creo que ha de ser por lo mismo. Lo mismo pasó con el finado Tomas K. el que se murió. A él le agarró lo mismo, vómito. A los días lo llevaron a hacerse exámenes y salió que ya estaba enfermo de los riñones.”*

(Eleonor*, 2019 colaboradora agrícola, aplicadora de plaguicidas).

de muerte en los hombres y la quinta en las mujeres (C. M. Orantes et al., 2019; Rodríguez et al., 2013, pp. 2012-2013). El Salvador y Nicaragua tienen tasas de mortalidad asociadas a la enfermedad que son 4 veces más altas que el promedio mundial (Orantes-Navarro et al., 2017; Rodríguez, 2014). Según el estudio realizado por el Instituto Nacional de Salud, la prevalencia de las ERC en la población salvadoreña es del 12.6% (17.8% hombres, 8.5% mujeres) e incluso del 18% (23.9% hombres, 13.9% mujeres) en las comunidades agrícolas (MINSAL, 2015b; C. Orantes et al., 2014). Uno de los principales contribuyentes, el 33% del total nacional, proviene de una forma de enfermedad renal crónica de causa (o etiología) desconocida o llamada factores de riesgo no tradicionales (MINSAL, 2015b; Rodríguez, 2014). Esta nueva forma de enfermedad renal también afecta a los niños y adolescentes, como se muestra en un estudio realizado en tres comunidades agrícolas de El Salvador, con tasas de prevalencia del 3.8% para los niños y el 4.3% para las niñas (Orantes-Navarro et al., 2016).

En El Salvador, la insuficiencia renal es la segunda causa

Esta enfermedad renal no tradicional se puso de relieve durante el decenio de 1990 en las comunidades

agrícolas de los países tropicales, incluidos los de América Central (El Salvador, Nicaragua, Costa Rica, Panamá), Asia (India) y África (Egipto) (Jayasumana et al., 2016). En El Salvador, la presencia de esta forma de enfermedad renal se detectó en 2002 en un estudio transversal de 205 pacientes en fase terminal de nefropatías (Trabanino et al., 2002). Este estudio reveló que el 67% de los casos no se originaban en factores de riesgo conocidos y se caracterizaban en su mayoría por una población de agricultores varones, que vivían en la zona costera, que estaban expuestos sin una protección adecuada a los plaguicidas en el lugar de trabajo (Trabanino et al., 2002). Por estas razones, esta forma de enfermedad renal de causas desconocidas ha sido llamada CINAC por sus siglas en inglés: Chronic Interstitial Nephritis in Agriculture Communities (CINAC), e incluye la enfermedad renal crónica de origen desconocido o incierto, la enfermedad renal crónica de etiología desconocida, la nefropatía agroquímica, la nefropatía endémica mesoamericana, la enfermedad renal crónica tubular e intersticial, la nefropatía endémica de Uddanam o la nefropatía agrícola de Sri Lanka (Jayasumana et al., 2016). Los riñones de los pacientes con CINAC se caracterizan por lesiones tubulares e intersticiales, esclerosis glomerular pero no hay proteínas en la orina (Jayasumana et al., 2016).

Las causas de la CINAC incluirían determinantes ambientales y sociales, entre ellos la exposición crónica a sustancias tóxicas durante el trabajo agrícola y a un medio ambiente contaminado (agua potable) y condiciones de trabajo agrícola inseguras e insalubres (Hoy et al., 2017; Orantes Navarro et al., 2014; Orantes-Navarro et al., 2017). La exposición a sustancias tóxicas incluiría la combinación de algunos plaguicidas de los que se sabe que son tóxicos para los riñones (paraquat, glifosato, triazinas, metamidofos y metil paratión) con metales pesados en el medio ambiente (por ejemplo, el arsénico natural y el antropogénico) (Jayasumana, Gajanayake, et al., 2014; Jayasumana, Gunatilake, et al., 2014; D. López et al., 2013).

Las condiciones de trabajo inseguras e insalubres (ver capítulos 5.3.1 y 5.3.2) son el factor determinante complementario que explicaría el predominio de la CINAC, incluidas las condiciones de trabajo agotadoras (fatiga y uso excesivo de analgésicos) y el uso

indiscriminado de agroquímicos. Además, el ambiente de trabajo caliente y húmedo induce a un estrés por calor y la deshidratación concentraría las toxinas en los riñones (Hoy et al., 2017; Orantes-Navarro et al., 2017). En una gran mayoría de las referencias, el CINAC se encuentra en comunidades que cultivan arroz (Sri Lanka e India) o en el cultivo de caña de azúcar y de granos básicos (América Central) (Herrera et al., 2014; Herrera Valdés et al., 2015, 2019; Jayasumana et al., 2016; Jayasumana, Gunatilake, et al., 2014). Un análisis geoespacial de la relación entre los casos hospitalarios en El Salvador de enfermedad renal crónica de causas no tradicionales y los tipos de cultivo arrojó resultados interesantes. El modelo estadístico más significativo para explicar las tasas de ingreso hospitalario fue la presencia de cultivos de caña de azúcar (el más significativo estadísticamente), algodón y granos básicos (Vandervort et al., 2014).

Los resultados de una investigación publicada muy recientemente sugerirían firmemente una etiología común para los casos de CINAC notificados a nivel mundial (Vervaet et al., 2020). **De hecho, sobre la base de la biopsia de 34 riñones de personas afectadas por el CINAC de Sri Lanka, El Salvador, la India y Francia y de pruebas realizadas en ratas, los investigadores pudieron demostrar que los pacientes se someten a un mecanismo tóxico similar a la nefrotoxicidad de la calcineurina tubular (Vervaet et al., 2020).** Calcineurina es una enzima que une el Ca^{2+} y la proteína calmodulin inhibiendo la actividad del calmodulin. El calmodulin esta involucrado en la regulación de una variedad de actividades de la célula. En otras palabras, ciertas sustancias como el litio, el clomifeno, la lomustina y ciertos plaguicidas (paraquat, glifosato y piretroides) inhiben directa o indirectamente la calcineurina, que luego induce la nefrotoxicidad tubular (Vervaet et al., 2020). **Se cree que el origen tóxico de esta enfermedad renal en El Salvador se debe a la combinación de productos agroquímicos y a la deshidratación.** Esta hipótesis fue confirmada de nuevo por un modelo de regresión lineal múltiple publicado muy recientemente (C. Orantes et al., 2020).

Este resultado es tanto más preocupante cuanto que, según un estudio epidemiológico realizado en El Salvador en 2015, el 12.6% de la población salvadoreña adulta (23% de los hombres) está altamente expuesta a los agroquímicos en el lugar de trabajo (Orantes-Navarro et al., 2019). Estas estadísticas son aún más importantes en el contexto rural donde el 66.5% de los hombres y el 33.1% de las mujeres están expuestos (C. Orantes et al., 2014).

Según las estadísticas del MINSAL, las otras infecciones agudas de las vías respiratorias superiores son la primera causa para los hombres y la segunda para las mujeres en las clínicas ambulatorias, lo que corresponde a 818,489 casos por año (MINSAL, 2018; OPS, 2008). Las enfermedades del sistema respiratorio asociadas a la calidad del aire incluyen neumonías no especificadas, asma no especificada, bronquiolitis no especificada, enfermedad pulmonar obstructiva crónica no especificada. El Salvador registró más de 14,000 hospitalizaciones por año en 2014 y 2015, de las cuales el 4 y el 4.5% de estos pacientes murieron debido a la contaminación del aire (MINSAL, 2015a). Los efectos agudos de la contaminación del aire incluyen la tos, la dificultad para respirar, la hiperreacción bronquial, la irritación de los ojos y la arritmia cardíaca (MINSAL, 2015a). Los efectos crónicos incluyen la pérdida de la capacidad pulmonar, el desarrollo de enfermedades pulmonares infantiles, la muerte temprana de personas con enfermedades pulmonares y cardíacas (MINSAL, 2015a). Según el inventario de emisiones contaminantes de El Salvador (Herrera Murillo, 2011), 45,466 toneladas de PM_{10} y 30,651 toneladas de $PM_{2.5}$ se emiten por año en el país. Las principales fuentes de PM_{10} son la combustión de madera (40%), la quema a cielo abierto de residuos (19.3%) y la labranza agrícola (6.1%) (Herrera Murillo, 2011).

No hay estimaciones para El Salvador de la contribución de la quema de la caña de azúcar y otros cultivos a este total ni de los efectos directos sobre la población. Puede asumirse razonablemente que la quema de cultivos corresponde a parte del 40% de la combustión de madera, ya que también es una biomasa. No obstante, se han realizado investigaciones epistemológicas sobre este tema principalmente en Brasil, pero también en Ecuador, Etiopía y la isla Maui.

Uno de estos estudios se centró en los efectos de esta

práctica en la salud de las/os trabajadoras/es de la caña de azúcar y las personas que viven alrededor de estos cultivos. El nivel de partículas finas fue medido antes, durante y después de la quema en pueblos de Brasil y Ecuador. Los niveles de partículas finas medidos para trabajadores y residentes estaban por debajo de los límites de la OMS (trabajadores: $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$, residentes $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durante 24 horas). Sin embargo, esta investigación reveló que las aldeas y los trabajadores están expuestos a concentraciones de partículas finas no sólo durante el incendio, sino también al día siguiente, cuando las cenizas que contienen cristobalita potencialmente tóxica son suspendidas durante los trabajos de corte (hasta $21.5 \text{ mg}/\text{m}^3$). Esta exposición es importante ya que las/os trabajadoras/es pasan largos períodos de tiempo cortando la caña de azúcar (Maximus, 2019). Según los cálculos realizados por los investigadores, la quema de la caña de azúcar contribuiría a un 3% de la mortalidad de quienes viven cerca de los campos (Le Blond et al., 2017). Le Blond et al. (2017) llega a la conclusión de que la exposición de las personas que se encuentran alrededor de los campos debe considerarse un peligro para la salud respiratoria tanto a nivel agudo como crónico.

Otros estudios han puesto en relieve el impacto de la quema de la caña de azúcar en la salud de la población, entre ellos:

Paraíso et al. (2015) llevó a cabo un estudio donde incluyó datos mensuales de los incendios en los cultivos de caña de azúcar y la frecuencia de los ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias en los 645 municipios de São Paulo, Brasil. Los investigadores demostraron una asociación significativa entre la hospitalización de niños menores de 5 años por enfermedades respiratorias y el número de incendios en los campos de caña de azúcar.

Mnatzaganian et al. (2015) comparó la tasa de distrés respiratorio (1,256 informes) a lo largo de un año en una zona impactada y otra no impactada por las quemaduras de caña de azúcar en la isla Maui. Los investigadores destacaron la relación entre el área de caña quemada y el número de insuficiencias respiratorias agudas.

Dengia & Lantinga (2018) comparó en dos estados de Etiopía el número de pacientes hospitalizados por infecciones de las vías respiratorias superiores durante

la quema de la caña de azúcar con el de los períodos sin quemar. Los resultados mostraron que hay entre un 18 y un 56% menos de infección pulmonar durante el período sin quemaduras de estos cultivos.

Cançado et al. (2006) monitoreó durante un año las partículas finas de la ciudad de Piracicaba (Brasil), donde el 80% de su cuenca está ocupada por cultivos de caña de azúcar. Esta investigación demostró que las partículas generadas por el fuego de la caña de azúcar eran el factor más importante en la tasa de consulta de enfermedades respiratorias en niños y ancianos. Esta investigación demostró que para un aumento de 42.9 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de PM_{10} y un aumento de 10.2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de $\text{PM}_{2.5}$, hubo un aumento de 21.4% y de 31.03% en la hospitalización de niños y ancianos por problemas respiratorios, respectivamente.

Esta investigación muestra que la contaminación por partículas finas durante la quema podría ser también uno de los factores significativos que contribuyen a los altos datos epidemiológicos de las enfermedades del sistema respiratorio superior en El Salvador. No obstante, esta hipótesis debería verificarse mediante campañas de medición específicas sobre la emisión de partículas finas de esta práctica, junto con datos epidemiológicos.

7.4 Conclusiones

El modelo de exposición reveló un cociente de riesgo 100 veces mayor que el riesgo aceptable por la OMS. Los estudios epidemiológicos sobre los casos agudos de

intoxicación y sobre ciertos efectos crónicos, como las enfermedades renales de origen desconocido, podrían ser la punta del iceberg en lo que respecta a la salud pública.

Las causas discernibles de esta situación son: la falta de uso de equipo de protección personal, la falla del equipo para la aplicación de plaguicidas, el desconocimiento de los productos utilizados (en especial sobre su composición química y sus repercusiones para la salud), la falta de capacitación en el uso de estos productos (incluida la dosificación inapropiada) y la falta de consideración del estado médico del operador/a por el empleador. Las condiciones de trabajo impuestas a las/os trabajadoras/es les exponen a mezclas de plaguicidas que no respetan necesariamente las dosis recomendadas y les llevan a trabajar de manera rápida e inapropiada. La exposición del cuerpo humano a tóxicos asociados con una hidratación inadecuada y la falta de condiciones de trabajo adecuadas probablemente tenga efectos sinérgicos en la salud de las/os trabajadoras/es.

Los resultados de las investigaciones llevadas a cabo anteriormente en El Salvador y las realizadas durante esta investigación, muestran que la exposición de las/os trabajadoras/es a los agroquímicos que utilizan es muy preocupante y altamente peligrosa. Esta conclusión podría alcanzarse sobre la base de la descripción de las prácticas, un examen de los efectos tóxicos experimentados después por las/os trabajadoras/es, los datos epidemiológicos sobre la intoxicación y el uso del modelo de exposición de la OMS.

8

Efectos y evaluación de riesgos para el sistema acuático y de los humedales



8.1 Introducción

Este capítulo se centra en la evaluación de las Concentraciones Ambientales Medidas (CAM) en el agua, el sedimento y los peces del humedal de Garita Palmera. También se realizó una búsqueda bibliográfica para caracterizar los efectos que ciertos insecticidas y herbicidas tienen sobre el medio ambiente del estuario y los ecosistemas de manglares.

8.2 Metodología

Evaluación del riesgo en los sedimentos y el agua

La evaluación de riesgos se basa en el primer nivel de la evaluación estipulado en la guía técnica de la Directiva Marco del Agua (EC, 2011). Este primer nivel de evaluación se basa en la valoración de las CAM y los

Criterios de Calidad Ambiental (CCA). Estos dos valores se utilizan para calcular el cociente de riesgo (CRI) de la siguiente manera:

$$CR_i = \frac{\text{mg ingred.act.}}{\text{kg pes.corp.*día}}$$

CR_i : Cociente de riesgo para el contaminante i

CAM_i : Concentración ambiental medida para el contaminante i

CCA_i : Criterios de calidad ambiental para el contaminante i

Si $CR_i > 1$, el riesgo se considera intolerable para los organismos acuáticos.

Si $CR_i < 1$, el riesgo se considera tolerable para los organismos acuáticos.

Dependiendo del rendimiento del laboratorio, es necesario tener en cuenta el límite de cuantificación del contaminante analizado (LOQ). Si el contaminante está por debajo del límite de cuantificación, hay que tener en cuenta lo siguiente:

Si el $LOQ_i < CCA_i$ entonces se puede concluir que el riesgo inducido por el contaminante i para la muestra dada es tolerable.

Por otro lado, si el $LOQ_i > CCA_i$ no es posible evaluar el riesgo hasta tener una mejor performance analítica.

Evaluación del riesgo del consumo de pescado

La evaluación del riesgo del consumo de pescado en los Manglares se basa en la guía "Orientación para la evaluación de datos sobre contaminantes químicos para su uso en las advertencias sobre los peces" (US EPA, 2000). Para calcular una concentración límite en el pescado (CLP) para esta relación, se utilizó la Rfd (dosis de referencia crónica) teniendo en cuenta el escenario de un pescador de subsistencia que come 170 g de filete por día y tiene una masa de 70 kg. Estos parámetros se derivaron del consumo diario y del peso de los adultos del mismo documento de la US EPA (2000).

En este caso, si el $CLP < \text{Concentración Medida en Peces}$ y el $CLP > LOQ$ entonces el riesgo para la salud humana de este contaminante se considera tolerable.

Por otra parte, si $CLP < \text{Concentración medida en los peces}$, pero $CLP < LOQ$, no se puede excluir un riesgo.

8.3 Efectos de plaguicidas en diferentes organismos estuarinos/marinos y manglar

8.3.1 Efectos de los insecticidas

En los cuadros 5 y 6 se muestran diferentes efectos de plaguicidas organoclorados y organofosforados. Concretamente se muestra un total de 21 ejemplos (14 correspondiente a organoclorados y 7 ejemplos de organofosforados). Dentro de los organismos empleados para los análisis específicos sobresalen mayoritariamente moluscos bivalvos (ostras y almejas), peces seguidos por camarones y cangrejos. La toxicidad

de los plaguicidas y sus efectos causa cambios en el desarrollo conductual, bioquímicos, físicos y reproductivos (Lincer et al., 1976).

A continuación, se presentan algunos ejemplos planteados por Lincer et al. (1976):

Algunos plaguicidas organoclorados, como el mirex, son particularmente tóxicos para organismos estuarinos. Ej.: organismos juveniles de camarón marino y cangrejos murieron cuando fueron expuestos a este compuesto en $1 \mu\text{g/L}$ de mirex.

Aspectos conductuales

Investigaciones realizadas en "cangrejos violinistas" demostraron pérdida del control en el movimiento, lo cual es vital para escapar de depredadores, así como para su alimentación y reproducción. Se han observado cangrejos de la especie *Uca pugnax*, sobreviviendo en detritus, conteniendo 10 mg/L de DDT y con pérdida de coordinación.

En *Uca pugilator* (cangrejo violinista) se detectaron problemas de velocidad después de aplicaciones de 0.1 a 10 mg/L de dieldrin. En la especie *Callinectes sapidus* (cangrejo azul) se reportó una sobrevivencia únicamente del 22% por exposiciones de 9 meses a concentraciones de DDT de 0.5 y $0.25 \mu\text{g/L}$ (Lincer et al., 1976).

Aspectos de crecimiento y desarrollo

4 especies fitoplanctónicas fueron expuestas a: DDT, Dieldrin y endrin. Los efectos fueron variados a diferentes concentraciones, causando daños severos a la inhibición de la división celular, alterando el proceso de fotosíntesis. El DDE a bajas concentraciones de $0.1 \mu\text{g/L}$ inhibió el crecimiento de dinoflagelados de la especie *Exuviella baltica*.

En diferentes estadios de *Mytilus edulis* ("almeja") se observaron anomalías en el desarrollo como disyunción de blastómeros, reducción en el ámbito de crecimiento, pérdida de capacidad de agregación de tejidos al ensayar con altas concentraciones de 5 organoclorados (principalmente carbaryl y trichlorphon).

Tabla 30 Efecto de plaguicidas organoclorados en organismos estuarinos/marinos

Tratamiento	Taxa	Efectos observados	Referencias
7 plaguicidas: 1 a 5 µg/L; 5 años de monitoreo	"Almejas" "Ostras"	Diferentes especies captan plaguicidas en rangos específicos.	(Lincer et al 1976)
Endrin, Aldrin, Heptacloro.	"Ostras"	Relación lineal entre concentración y crecimiento de la concha.	(Lincer et al 1976)
DDT in oil spray, 2 – 1.6 lb/A	"Isopodos" " Amphipodos"	Altas mortalidades.	(Lincer et al 1976)
Methoxychlor	"Vaquitas marinas".	Afecta la fertilización y pobre desarrollo de huevos.	(Jayaraj et al., 2016)
Endosulfa, concentración de 26.3 mg/L en 4 horas de exposición	"Juveniles de Bagre"	100% de mortalidad y se observa necrosis en células del hígado.	(Z. Singh et al., 2016)
Endosulfan a concentraciones de 0, 0.25, 1, 2, 3, 4 y 16 µg/L por 96 horas de exposición.	"Peces" <i>Cichlasoma dimerus</i>	Decrecimiento corpuscular de hemoglobina hiperplasia en el epiteliointerlamellar, congestión sanguínea en las lamellas secundarias, hipertrofia en las agallas, daños testiculares y degeneración en el hígado.	(Z. Singh et al., 2016)
Endosulfan con concentraciones de 0.005, 0.05 y 0.5 µg/L por 15 días.	"almejas" <i>Ruditapes philippinarum</i>	Rotura de filamentos a nivel de agallas y alteración de glándulas digestivas.	(Z. Singh et al., 2016)
Dieldrin a 1.50 mg/L	"cangrejos violinistas"	Niveles de correlación detectados con mala adaptabilidad, conducta y mortalidad. Con efectos latentes.	(Lincer et al 1976)
DDT de 2-5 mg/L	"camarones" "cangrejos" "peces"	De 35 a 100% de mortalidad.	(Lincer et al 1976)
DDT <1 mg/L	"ostras"	Alimentación, crecimiento de la concha paralizada, movimientos erráticos de la "concha".	(Lincer et al 1976)
Mirex de 1-5 Partículas de cebo en agua de mar estandarizada / Mirex en agua de mar que fluye 1.0 a 0.1 µg/L	"camarones" juveniles. "camarones" juveniles. "cangrejos azul"juvenil. "cangrejos violinistas"	-40-100% de mortalidad. -arriba del 100% mortalidad de "camarones" en agua libre de Mixer. -96% de mortalidad. -acumulan Mixer en el cuerpo.	(Lincer et al 1976)
Toxafeno	"peces" "camarón" "cangrejos"	96 horas de exposición TL50 y se observaron daños histológicos.	(Lincer et al 1976)
DDE	"patos"	Adelgazamiento de la cáscara de los huevos después de 4 días sobre 40 ppm.	(Lincer et al 1976)
Chlordano	"Focas"	Evidencia de cáncer y trauma meningocephalitis.	(Javaraj et al 2016)

Tabla 31 Efecto de plaguicidas organofosforados en organismos estuarinos

Tratamiento	Taxa	Efectos observados	Referencias
Parathion	"ostras"	Aumento de toxicidad en relación al crecimiento del caparazón.	(Lincer et al 1976)
Rango de 4 plaguicidas de guthion a 0.62 ppm	Huevos de "ostras" y "almejas"	50% de los huevos se desarrollaron normalmente.	(Lincer et al 1976)
Malathion Dursban concentraciones de 10 a 0.1 ppm	"peces"	Se evidenció presencia de Malathion pero no de Dursban.	(Lincer et al 1976)
Paraoxon DDMP Parathión/Metil Parathión	"cangrejo violinista"	Selectividad en la inhibición de la colinesterasa en la homogenización de tejidos. Colinesterasa sea inhibida en pequeñas cantidades de plaguicidas.	(Lincer et al 1976)
Malathion, parathión	"peces" y "camarón rosado"	Reveló comparación de dolor inhibido.	(Lincer et al 1976)
Parathion	"patos"	Efecto de adelgazamiento de la cáscara de huevos.	(Lincer et al 1976)

Citología e histopatología

Además Lincer et al. (1976) mencionan que ostras (*Crassostrea virginica*) expuestas a 1 ppb de DDT, Toxapheno y Parathión (combinados) exhibieron una anormal infiltración de leucocitos y de gónadas y problemas de hiperplasia del epitelio germinal.

Al final concluyen que estos compuestos tienen capacidad de quebrar los mecanismos defensivos, creando susceptibilidad en los organismos de ataques de hongos, bacterias y virus. El organoclorado mirex fue capaz de incrementar la incidencia en infecciones virales en el camarón rosado (*Litopenaeus duorarum*). Alrededor del 66% de los controles fueron infectados por el virus *Baculovirus penai*.

8.3.2 Efectos de los herbicidas

Como se puede ver en los modos de acción de los plaguicidas en la Tabla 5 (capítulo 2.3.3), muchos herbicidas actúan inhibiendo directa o indirectamente la fotosíntesis. Cuando estos herbicidas se encuentran en el medio acuático, afectan principalmente a los productores primarios del ecosistema, que son las especies más sensibles a estos residuos. Por ejemplo, según las pruebas ecotoxicológicas de laboratorio, las especies más sensibles al glifosato y al 2,4-D son

las plantas acuáticas (*Myriophyllum sibiricum*) por inhibición del crecimiento, el alga marina *Synechococcus* sp. para el diuron o la microalga *Raphidocelis subcapitata* para el metacloro (Ecotox Centre, 2016a, 2016b, 2016c, 2017).

No se dispone de estudios sobre los efectos del paraquat en los ecosistemas de manglares. Según los ensayos de toxicidad realizado en el laboratorio por exposición en fase acuosa, las especies más sensibles son las diatomeas (*Navicula pelliculosa*, NOAEC: 0.16 µg/L), las plantas acuáticas (*Lemna gibba*, NOAEC: 23 µg/L) y los crustáceos marinos (misidios *A. bahía*, NOAEC: 39 µg/L) (US EPA, 2019). En el compartimento sedimentario, sólo se dispone de pruebas con la mosca (*Chironomus riparius*) y el anfípodo (*Hyallela azteca*). La prueba de toxicidad aguda en *Hyallela azteca* (que mide la supervivencia y el crecimiento durante 10 días, NOAEC: 30 mg/kg-ps) muestra efectos a concentraciones más bajas que la prueba crónica en el quironómido (mortalidad durante 21 días, NOAEC: 90 mg/kg-ps). Estos resultados muestran que existen lagunas en los efectos a largo plazo del paraquat en los organismos bentónicos y epibentónicos, así como en el tipo de exposición a través de los sedimentos (contacto, ingestión, agua de poros). Esto es especialmente preocupante porque el paraquat se acumula en los sedimentos y es persistente (US EPA, 2019).

En un estudio realizado en manglares de Australia (Duke et al., 2005), el diuron se correlacionó con una grave y generalizada muerte de 30 km² de manglares (*Avicennia marina* y *Vierh. var. Eucalyptifolia*) (Duke et al., 2005). Las concentraciones de diuron encontradas en el agua de los manglares (4-10 ng/L) estaban asociadas a una disminución de la actividad fotosintética de las microalgas. Las concentraciones de diuron encontradas en los sedimentos se asociaron con un descenso de la clorofila en los manglares y una disminución de la salud de las plántulas de mangle (Duke et al., 2005).

Bell & Duke (2005) midieron el impacto de 3 herbicidas (atrazina, diuron y ametrina) en la actividad fotosintética de cuatro especies diferentes de manglares. Las especies de manglares incluían manglares con diferentes fisiologías, entre las que se encontraban las "excretoras de sal" (*A. marina* y *Aegiceras corniculatum*) y las "excluidoras de sal" (*Rhizophora stylosa* y *Ceriops australis*). Las plántulas de cada tipo de mangle cosechadas en el humedal de la Bahía de Moreton (Australia) fueron expuestas en el laboratorio a sedimentos de espiga con concentraciones de 4, 40, 400 y 4,000 µg/kg de herbicida. Los manglares fueron expuestos durante 72 días y se observó la inhibición de la fotosíntesis, la mortalidad y los síntomas físicos. Dos especies se expusieron a los herbicidas sólo a través de sus sistemas radiculares y otras dos especies se expusieron a los herbicidas a través de sus sistemas radiculares y sus hojas (sumergidas en agua).

Los resultados del experimento revelaron que las especies de manglares que son "excretoras de sal" son más sensibles a todos los herbicidas. Para la misma concentración, el herbicida más tóxico para los manglares es el diuron, seguido de la ametrina y de la atrazina. Sin embargo, la atrazina es el herbicida que actuó más rápidamente sobre *A. marina* (necrosis de las hojas) (Duke et al., 2005).

8.4 Evaluación de riesgo de los niveles de plaguicidas medidos

Las tablas 35 hasta 38 del apéndice 11.7 resumen la evaluación del riesgo de las concentraciones de plaguicidas en el agua del río El Aguacate. Sólo el análisis del glifosato tiene la precisión suficiente para

descartar un riesgo para los organismos acuáticos de esta muestra. Sin embargo, esta medición puntual no es muy representativa de las variaciones de concentración que se producen en los cursos de agua. Las mediciones deben realizarse de forma continua (automuestreo) durante todo el período de aplicación del plaguicida para calcular las concentraciones medias (por ejemplo, durante 2 semanas de medición) y máximas de glifosato en el arroyo El Aguacate. Los resultados analíticos del laboratorio no permiten evaluar el riesgo del paraquat y los organofosforados porque sus límites de cuantificación están por encima de los criterios de calidad ambiental.

Conscientes de que las mediciones puntuales de plaguicidas polares en aguas fluviales son poco representativas de la situación real y de que el número de análisis es muy limitado, se debería considerar también el uso de métodos de muestreo pasivos. La tecnología *Chemcatcher*® con membranas *Emperore Anion SR* permitiría la toma de muestras de 2,4-D y las membranas *Picloram* y *HLB-L* también permitirían la toma de muestras de atrazina, diuron y ametrina (Lacey, 2020). El glifosato puede ser muestreado por otro tipo de muestreador pasivo llamado "POCIS" (Polar Organic Chemical Integrative Samplers) y el paraquat por otra tecnología de extracción en fase sólida llamada *Oasis*® *WCX* (Weak Cation eXchange reversed-phase sorbent for strong bases and quaternary amines) (Lacey, 2020). Estas soluciones no se aplicaron en el contexto de esta investigación por razones de precio (alto en comparación con el precio del análisis en El Salvador), la dificultad de interpretar los datos en vista del riesgo ambiental y la diversidad de los muestreadores a desplegar.

Los análisis del agua al final del período de lluvias en los tres pozos de la microcuenca El Aguacate muestran que no hay riesgo para la salud humana asociado a la presencia de clorpirifos. Los límites de detección de triazinas y paraquats no son lo suficientemente bajos como para descartar un riesgo para la salud humana. Esto es especialmente preocupante ya que las triazinas se utilizan mucho en los cañales y se encuentran fácilmente en los acuíferos.

En cuanto al análisis de los sedimentos. La evaluación del riesgo del AMPA y de los organoclorados dieldrina, endrina, epóxido de heptaclor, p, p'-DDT, p,p'-DDD,

p,p'-DDE y γ -HCH (lindano) muestra que no hay riesgo asociado para los organismos bentónicos según los resultados reportados por el laboratorio. Los análisis de paraquat han demostrado que el Río El Aguacate y todo el humedal de Garita Palmera están contaminados con paraquat. Las concentraciones medidas están por debajo del valor guía determinado para el paraquat en este estudio. Sin embargo, cabe señalar que este valor guía debería basarse en pruebas de toxicidad crónica en al menos tres especies y niveles tróficos diferentes, para ser más fiable. Los límites de cuantificación no son lo suficientemente precisos para evaluar el riesgo del α y β - endosulfán y los organofosforados.

Este año ha sido excepcional debido a las condiciones hidrológicas provocadas por las tormentas tropicales (Amanda y Cristóbal) que tuvieron influencia por la zona. Estos podrían haber provocado una "purga" de los sedimentos en la zona. Sería recomendable realizar nuevas mediciones en la zona para diferentes plaguicidas hidrofóbicos en colaboración con un laboratorio que cuente con la precisión necesaria para

realizar la evaluación del riesgo químico.

De acuerdo a los resultados reportados para el análisis de pescado del humedal de Garita Palmera, no existe riesgo asociado al consumo de pescado en cuanto a contaminación por organoclorados y organofosforados dentro de los límites del escenario dado.

8.5 Calidad del agua - otros problemas encontrados

En los 4,4 km entre la bocatoma y la estación de medición El Diamante del Río El Aguacate, los niveles de oxígeno disponibles para el desarrollo de las especies acuáticas se reducen a la mitad y la carga total en iones disueltos se duplica. Según los análisis de iones principales, este aumento podría deberse a la lixiviación de ciertos fertilizantes aplicados en los cañales (sulfato de amonio, sulfato de potasio) y a la salinización de los suelos por técnicas de riego inadecuadas. El nivel de fósforo medido crea un riesgo de hipertrofia del agua.



Figura 30 Se perforan pozos cada 40 metros aproximadamente en los cañales para regar los campos entre febrero y mayo.

Esto supone un crecimiento exagerado de las algas verdes que, una vez muertas, provocan una importante disminución de los niveles de oxígeno debido a su degradación por los microorganismos. Un entorno anaeróbico podría provocar la reducción de grandes cantidades de sulfato (SO_4^{2-}) a sulfuro de hidrógeno (H_2S), que es tóxico para los organismos acuáticos. Este fenómeno se observó en los sedimentos situados aguas abajo de este lugar por el olor sulfuroso que desprendían, lo que indicaba un entorno anaeróbico.

La evaluación de la calidad del agua de los pozos de las comunidades muestra niveles de sal disuelta que hacen que el agua no sea apta para el consumo humano (apéndice 11.6). Desde hace unos 15 años, la mayoría de las familias de las comunidades El Palmo la Danta y El Chino no pueden utilizar agua de pozo para su consumo personal (monitoreo de pozo diciembre 2020). Se dice que este fenómeno se debe a la sobreexplotación de los acuíferos para el riego de los cañales (Figura 30) (Campos Hernández, 2016). Habría que seguir investigando para determinar si esta salinidad procede de la intrusión salina, de la contaminación por capas geológicas perforadas durante la instalación de los pozos de riego o si la salinidad procede de la removilización de antiguos depósitos de agua salada situados en las zonas inferiores de los acuíferos. El uso de agua del acuífero que contiene una carga demasiado alta de diferentes sales aumenta los niveles de salinidad del suelo, lo que a su vez aumenta la salinidad de los ríos y acuíferos a través de la lixiviación y la infiltración. Según las recomendaciones de la FAO y en vista de la calidad del agua, el riego debe limitarse en la zona (Ayers & Westcot, 1994).

8.6 Conclusiones

Los insecticidas organoclorados y organofosforados tienen diferentes efectos sobre los organismos marinos, incluyendo cambios bioquímicos, físicos, reproductivos y de comportamiento. La campaña de medición de ciertos insecticidas en 4 especies diferentes de peces en el humedal de Garita Palmera tiende a mostrar que los organoclorados, con la excepción de los endosulfanos, ya no son los plaguicidas prioritarios a monitorear en esta zona. Eso puede ser diferente en la zona del país donde se utilizó mucho más de este tipo de sustancia

o donde hay todavía sitios contaminados. No obstante, es necesario poner más énfasis en las degradaciones ambientales de los plaguicidas actualmente utilizados. Por ejemplo, se deben realizar más investigaciones en la zona de estudio y otros humedales sobre los niveles de exposición de los organismos marinos a los organofosforados y los neonicotinoides que son los más utilizados en el país.

No obstante, no hay que olvidar que la mayor preocupación ambiental por los cañales radica más en el uso de herbicidas como el 2,4-D, el diuron y las triazinas. Las investigaciones llevadas a cabo en Australia sugieren que diferentes herbicidas son los responsables del declive de los ecosistemas de manglares aguas abajo de los cañales (Bell & Duke, 2005; Duke et al., 2005). El problema en la zona de estudio de Garita Palmera es que se están llevando a cabo programas de reforestación de manglares y si algunos de estos herbicidas están presentes en el sedimento, podrían inhibir el crecimiento y/o matar las plántulas recién sembradas.

Diversos indicadores muestran que la zona de estudio está fuertemente afectada por problemas de salinización del agua del acuífero, probablemente debido al uso masivo de fertilizantes (presencia muy elevada de sulfatos) y a un régimen de riego excesivo. Parece esencial que se tomen medidas para regular la cantidad de agua bombeada a los acuíferos y que se establezcan medidas de protección del suelo, de lo contrario, estas tierras de cultivo podrían quedar inutilizadas para el cultivo. Sería aconsejable realizar estudios sobre la calidad del suelo para controlar la salinidad, el pH y los niveles de erosión.

Según las distintas visitas y mediciones realizadas, el Río El Aguacate se encuentra en un avanzado estado de depredación. Este río sólo recibe agua ocasionalmente durante el invierno, pero sus niveles de oxígeno sólo permiten la supervivencia de ciertas especies acuáticas tolerantes. Junto con el río El Chino, es la única entrada de agua dulce en la zona protegida del humedal de Garita Palmera. Por lo tanto, el Río El Aguacate debe convertirse en parte integrante de la zona protegida de los sitios Ramsar y debe llevarse a cabo un programa de renaturalización de este río, transformado mientras tanto en un canal de riego.

9

Recomendaciones



Es necesario realizar esfuerzos considerables a nivel regional y, sobre todo, a nivel nacional para reducir los efectos de los plaguicidas en trabajadoras/es agrícolas y las comunidades que viven a su alrededor, así como en el medio ambiente. Es necesario articular diferentes instrumentos jurídicos de prevención, protección, vigilancia y sanción, acompañados de un verdadero plan de acción para reducir los riesgos e impactos en la salud humana y el medio ambiente asociados al uso de plaguicidas.

Una propuesta de enfoque general para reducir el impacto de los plaguicidas en los países en desarrollo (según Konradsen et al., 2003) es el siguiente:

1. Eliminar los compuestos altamente tóxicos;
2. Sustituir los compuestos por alternativas menos tóxicas e igualmente eficaces;
3. Reducir el uso a través de un mejor equipo;
4. Aislar a la gente del peligro;
5. Etiquetar los productos y entrenar a los aplicadores en el manejo seguro;
6. Promover el uso de equipo de protección personal;
7. Introducir controles administrativos.

Diversos autores del mundo científico promueven el “Manejo Integrado de Plagas” (MIP) como una solución que integra el uso de plaguicidas químicos como último recurso si no son suficientes las medidas preventivas, los sistemas de alerta, previsión y umbral de tolerancia, así como el control biológico y físico (Consejo Federal Suizo, 2017). Este modelo parece haber funcionado en muchos países, como Filipinas, Indonesia, Nepal, Vietnam, Sri Lanka y otros países en desarrollo. Se cita en Atreya et al. (2011) como ejemplo un modelo que se basa más en la comunidad (“MIP comunitario”) además de un programa de capacitación para las/os agricultoras/es.

Sin embargo, cabe señalar que este tipo de enfoque requiere de un gran conocimiento y agricultoras/es alfabetizadas/os y que el éxito de este tipo de programa depende en gran medida de la financiación

de donantes. También es pertinente preguntar si este esfuerzo financiero y de capacitación podría invertirse directamente en una transición a la agricultura orgánica o agroecológica. El MIP podría ser una opción para la agricultura industrial (por ejemplo, para la caña de azúcar), ya que la transición a un modo de producción ecológico es poco probable.

Las siguientes recomendaciones han sido adaptadas al contexto salvadoreño pero no pretenden ser exhaustivas. Como mínimo, deberían servir para iniciar una reflexión más profunda a diferentes niveles. Diferentes áreas de cultivo en el país presentan características propias que deberían investigarse y después de un análisis exhaustivo, se podrían proponer planes para mejorar o eliminar el uso de pesticidas peligrosos y mejorar las condiciones laborales de las/os trabajadoras/es agrícolas.

9.1 A nivel nacional

9.1.1 La creación de una plataforma nacional para defender a las personas con enfermedades renales crónicas

Aproximadamente 800,000 personas (12.6% de la población) sufren de enfermedad renal crónica en El Salvador, de las cuales el 33% son de origen desconocido, aunque las últimas investigaciones publicadas muestran un origen tóxico (C. M. Orantes et al., 2014). Sería conveniente crear una plataforma nacional entre los diferentes actores de la sociedad civil para defender su derecho a la salud, al acceso a la atención médica y a la indemnización de las víctimas de esta forma de enfermedad renal crónica. La plataforma nacional debería apoyar la promoción a nivel de los órganos legislativos, ejecutivos y judiciales a fin de adoptar las medidas necesarias para frenar esta creciente epidemia en El Salvador.

9.1.2 Reforzar los controles y la vigilancia del cumplimiento de las normas laborales

Durante las investigaciones de las entrevistas se han denunciado varios abusos y violaciones a la legislación salvadoreña en cuanto a la protección de las/os

trabajadoras/es, incluidas violaciones de las normas de seguridad en el trabajo y de las obligaciones de los empleadores. En este contexto, el Ministerio de Trabajo y Seguridad Social debe llevar a cabo controles para asegurar el cumplimiento de los siguientes puntos:

Dada la relación empleador-empleado en los cultivos de caña de azúcar, el empleador es responsable de proveer el equipo de protección adecuado y de asegurar el cumplimiento de la Ley General de Prevención de Riesgos Laborales (ALRES, 2010) y de las normas de seguridad laboral para el uso de agroquímicos (ISDEM, 2012). Las normas sobre las condiciones de empleo para la fumigación incluyen el examen médico, la prohibición de emplear a personal menor de 18 años, mujeres en edad de procrear, personas con retraso mental, personas físicamente enfermas (hígado, riñones, asma) y personas analfabetas (ISDEM, 2012). Los trabajadores también deberían recibir capacitación sobre el uso seguro de los plaguicidas y fertilizantes y sobre el equipo de protección personal adecuado que debe utilizarse. El equipo debe adaptarse según el grado de peligrosidad de los productos utilizados. Según los productos utilizados por operadoras/es en los campos de caña de azúcar (por ejemplo, 2,4-D y glifosato), el empleador debe proporcionar a sus empleadas/os para la fumigación (Apéndice 2, pág. 111) (Medardo & Molina, 2016): guantes (de nitrilo, butilo o neopreno), una mascarilla con filtro (tipo NIOSH R95 o R100 más cartucho para vapores orgánicos), botas de goma, traje de protección y gafas de seguridad.

Finalmente, el MAG y/o el MARN deberían garantizar la supervisión permanente en el uso de plaguicidas.

9.1.3 Refuerzo de los controles y vigilancia del cumplimiento de los Decretos No 423 y No 18

Las encuestas de entrevistas han demostrado que no se respetan los diversos aspectos jurídicos de la fumigación aérea, lo que pone en peligro la salud de aldeanas/os, de aplicadoras/es y de quienes dirigen los aviones fumigadores en tierra. Se trata principalmente de violaciones de los párrafos 12 y 18 del artículo 7 del Decreto sobre la aplicación aérea de plaguicidas (MAG, 2011). El párrafo 7 no se cumple porque los aviones pasan por encima de las casas, liberando parte

de la fumigación sobre casas y escuelas, sin respetar la distancia mínima de seguridad de 300 m. Además, muchas parcelas de caña de azúcar colindan con las casas de las comunidades. En muchas entrevistas también se informó que la difusión de los plaguicidas por las corrientes de viento en la producción de alimentos de las comunidades causaba pérdidas en sus cultivos. Tampoco se respeta el Decreto N° 18, ya que no se informa a aldeanas/os 72 horas antes de la aplicación aérea. Como resultado, las personas no toman las medidas necesarias para protegerse antes del paso de la aeronave. El horario de aplicación (6-8 am) también puede poner en peligro la salud de niñas/os que van a la escuela a esas horas. En uno de los testimonios recogidos se afirma que un niño fue rociado de esta manera al pasar un avión, quien fue posteriormente hospitalizado por envenenamiento agudo.

El MAG y/o el MARN deberían garantizar la supervisión permanente en el uso de plaguicidas, el cumplimiento de las normas establecidas en los marcos legales, así como la aplicación de las sanciones contempladas en caso de violación a los mismos.

9.1.4 Actualización de la Ley de Control de Plaguicidas, Fertilizantes y Productos de Uso Agrícola (LCP)

La LCP debe actualizarse para incluir lo siguiente:

a. La creación de un comité técnico interdisciplinario (ecología, agronomía, agroecología, economía, ciencias sociales y del comportamiento, salud y toxicología, ecotoxicología, hidrogeología, pedología) compuesto por representantes de la academia, del sistema de salud, de los ministerios de salud, agricultura y medio ambiente, de la sociedad civil y los interesados locales, para:

- Revisar cada cuatro años la lista de ingredientes activos autorizados según los efectos a nivel

individual (toxicología), de población (epidemiología) y de ecosistema (ecología y ecotoxicología) para la importación y el uso, así como las condiciones de uso.

- Realizar un análisis socioeconómico integral que incluya los costos de la salud pública (enfermedades agudas y crónicas, suicidio, mortalidad, morbilidad), la pérdida de mano de obra debido a esas enfermedades, la precariedad de las comunidades debido a los costos de la salud, la pérdida de recursos hídricos y de biodiversidad (recursos pesqueros), la pérdida de la fertilidad del suelo y sus repercusiones a mediano y largo plazo para la agricultura, etc.

b. Prohibición de sustancias activas con un potencial particularmente peligroso para la salud humana.

En particular:

- Los ingredientes activos responsables de la mayoría de los casos de intoxicación aguda en el país, incluidos los bipiridilos¹⁵, los organofosforados¹⁶, los carbamatos¹⁷ y los piretroides¹⁸.
- Ingredientes activos con un efecto tóxico en los riñones.

c. Prohibición de sustancias activas con un potencial particularmente peligroso para el medio ambiente y la biodiversidad.

Entre ellos:

- Ingredientes activos con alto riesgo de contaminar los acuíferos como las triazinas¹⁹.
- Ingredientes activos muy peligrosos para los insectos polinizadores como los neonicotinoides²⁰, el piretroide bifentrino, los carbamatos²¹, los organofosforados²².

¹⁵ paraquat, diquat.

¹⁶ terbufos, clorpirifos, diazinon, etoprofos, forato, acefato.

¹⁷ carbofurano, asulam, carbosulfán.

¹⁸ bifentrin, lambda cihalotrin, cipermetrina.

¹⁹ atrazina, ametrina, ciromazina, terbutrina, hexazinona.

²⁰ clotianidina, imidacloprid, tiametoxam.

²¹ carbaril, carbofurano, metomil, metiocarb, mexacarbato, propoxur.

²² azinfos-metilo, clorpirifos, demeton, diazinon, dicrotofos, diclorvos, dimetoato, fentiión, fenitrotión, fensulfothion, fonofos, malatión, metamidofos, metidatión, metil paratión, mevinfos, monocrotofos, naled, ometoato, oxidemetón-metilo, forato, fosmet, fosfamidón, pirazofos, tetraclorvinfos.

d. Que se prohíba la aplicación de productos agroquímicos por vía aérea como ya lo está en el caso de Europa.

e. Prohibición de los plaguicidas químicos sintéticos para uso privado.

- Los plaguicidas sintéticos y los biocidas que no se utilizan con fines sanitarios o de salud pública (por ejemplo, para controlar el dengue, el paludismo, el zika, la chikungunya, etc.) deberían estar prohibidos para uso doméstico.

f. Reglamentación y reducción del uso y la comercialización de sustancias con efecto eutrofizante en el medio ambiente natural.

- El uso de los fertilizantes responsables de acelerar la eutrofización de las aguas superficiales y responsables de la contaminación de los acuíferos (nitrato, fosfatos, metales pesados) y los suelos debe reducirse a niveles aceptables en virtud de las leyes ambientales y el agua para consumo humano.

g. Normas de medición y pureza de los fertilizantes importados

- El contenido de metales pesados y arsénico de los fertilizantes importados en el país debe ser controlado para no reforzar aún más las altas concentraciones de ciertos contaminantes de las fuentes geogénicas existentes. Los fertilizantes importados deberían ser analizados en El Salvador para verificar que tienen la calidad necesaria para no contaminar el país.

9.1.5 Actualización de la Ley de Medio Ambiente (LMA)

Es necesario realizar varias actividades para monitorear los niveles de contaminación en el medioambiente de El Salvador:

a. Sistema de Monitoreo de Ecosistemas Acuáticos

- A nivel nacional, el MARN y algunas universidades aplican un sistema de vigilancia de las aguas superficiales que incluye indicadores biológicos (macroinvertebrados, peces o diatomeas) e indicadores físico-químicos, así como los contaminantes sintéticos emergentes (plaguicidas, metales pesados, drogas, antibióticos y productos industriales).
- Establecimiento de un órgano de vigilancia para identificar los problemas de contaminación y sus responsables.
- Se establece una lista de sustancias químicas prioritarias en términos de salud humana y ambiental para la vigilancia en los diferentes medios ambientales (agua, suelo, biota, sedimento). Las denominadas sustancias "prioritarias" son las que suponen una amenaza para el medio acuático o a través de él. El objetivo de la lista es reducir (o eliminar) la contaminación de las aguas superficiales (ríos, lagos, estuarios y aguas costeras) por los contaminantes enumerados.

b. Establecimiento de normas de calidad ambiental (NCA) para sustancias prioritarias

- Se aplican normas de calidad ambiental vinculantes para matrices medioambientales pertinentes (las aguas superficiales, los estuarios, los acuíferos, los suelos, los sedimentos o la biota) según el comportamiento físicoquímico del contaminante y de sus Concentraciones Ambientales Medidas sobre la base de datos de efectos tales como toxicidad aguda y crónica para los organismos acuáticos, acumulación en el ecosistema y pérdida de hábitats y de biodiversidad, así como para la salud humana.

9.2 Aplicar un plan de acción para reducir los riesgos para la salud y el medio ambiente derivados del uso de plaguicidas y fertilizantes.

El MAG, MARN y el MINSAL deberían implementar un plan para reducir los riesgos asociados con el uso de plaguicidas y fertilizantes. El plan debe tener como objetivo proteger a consumidoras/es, operadoras/es, personas que se encuentran alrededor de los campos, las aguas subterráneas y superficiales y los organismos que participan en la fertilidad del suelo, así como todos los organismos (como las abejas) que tienen un papel importante en la conservación y sustentabilidad del ambiente. El plan debe incluir un programa nacional de capacitación sobre alternativas de producción orgánica o agroecológica, un proceso de transición de la producción convencional a un modo de producción más sostenible, metas cuantitativas de reducción del uso y concentración de plaguicidas y fertilizantes medidos en matrices ambientales (agua, suelo, sedimento, biota), apoyo estatal a la producción agroecológica de alimentos, la valorización de productos orgánicos a nivel nacional y para la exportación (café, azúcar, etc.), la introducción de zonas de compensación ecológica proporcionales a las áreas cultivadas.

9.3 Exigencias mínimas a cumplir para la producción de caña de azúcar

La producción actual de caña de azúcar en El Salvador sigue siendo en gran medida un tipo de producción convencional que implica el uso sistemático de fertilizantes químicos, la aplicación de herbicidas sintéticos al suelo y el riego. La elección del modo de producción que sea convencional, ecológica o agroecológica depende en gran parte de la política agrícola del país. Sin embargo, antes de la discusión de este elemento estratégico, la lucha contra las malas prácticas agrícolas, peligrosas para la salud humana y el medio ambiente y que ponen en peligro la producción sostenible, debería ser un objetivo a corto plazo y prioritario. Las malas prácticas consisten en la dosificación y aplicación inadecuada de plaguicidas y sin equipo de protección, el uso masivo e inadecuado de fertilizantes, las técnicas de riego ineficaz y perjudicial y la práctica de la quema antes de la cosecha.

Es necesario iniciar tres procesos prioritarios a corto plazo a nivel nacional:

- a. Que las recomendaciones promulgadas en la Guía Técnica de Buenas Prácticas Agrícolas del Cultivo de Caña de Azúcar (Medardo & Molina, 2016) en El Salvador sean exigencias mínimas vinculantes para cualquier productor que venda su caña de azúcar a un ingenio, bajo el supuesto que existe un adecuado seguimiento y monitoreo por partes de las autoridades estatales para que se cumpla con lo indicado en la guía.
- b. Que se prohíba la práctica de la quema a nivel nacional y que se establezcan mediante incentivos adecuados la promoción de una zafra verde como el inicio en avanzar hacia un tipo de cultivo que tenga el menor impacto ecológico y social impulsado por parte de las autoridades competentes.
- c. El cese de la aplicación de agroquímicos por vía aérea.

La zafra verde tiene muchas ventajas según el análisis coste-beneficio a 5 años realizado para El Salvador por Fonseca et al. (2018). En primer lugar, la reincorporación como rastrojo del 40% de los residuos agrícolas de cosecha reduce el uso de fertilizantes como la urea y los sulfatos de amonio hasta en un 20% y reduce la erosión del suelo. El otro 60% puede revalorizarse energéticamente. La caña de azúcar no quemada aporta un 10% más de zumo cuando se prensa y aumenta el rendimiento de 5 a 15 ton/Ha. El rendimiento medio actual, según el anuario estadístico del MAG 2018-2019, es de 91.3 ton/Ha (63.8 toneladas/manzana). Según Fonseca et al. (2018) el rendimiento en el primer año de zafra verde sería de 135 ton/Ha y de 121 ton/Ha entre el segundo y el quinto año. Un cambio en las variedades cultivadas para corresponder a los diferentes perfiles agroecológicos de las regiones de El Salvador podría aumentar el rendimiento hasta 170-190 ton/Ha (Fonseca et al., 2018). Los residuos de cosechas también pueden revenderse para la producción de electricidad. No obstante, la zafra verde dobla el coste de la mano de obra. Pero al final, el análisis coste-beneficio a nivel puramente económico es similar con o sin quema. Sin embargo, la zafra verde aporta

más empleos (0.48 empleos/ha año) y se basa en un salario incentivador para los trabajadores que duplica (6.6 dólares por tonelada) lo que se gana actualmente. Los beneficios medioambientales son: captura de 70 toneladas de CO₂/Ha, reducción de la erosión, reducción de las malas hierbas, mejores cualidades químicas y biológicas del suelo.

9.4 Responsabilidad empresarial: incentivos para mejorar la gestión del agua

A falta de una ley del agua que fije los límites y las prioridades de uso, el reparto desigual y la sobreexplotación de los recursos hídricos por parte de la agroindustria, la ganadería y el sector industrial que utiliza el agua como materia prima, genera tensiones entre las comunidades más pobres y vulnerables. Sin embargo, dado el contexto de vulnerabilidad de las comunidades y las amenazas a las que están sometidas, no es estratégicamente viable desarrollar un plan de gestión integrado directamente entre ellas y los grandes productores. A la espera de que se establezca el marco legal y de que las autoridades competentes controlen el cumplimiento de la ley, existe un enfoque basado en incentivos para que las empresas se ajusten a los principios de buena gobernanza y gestión sostenible de los recursos hídricos, teniendo en cuenta las necesidades sociales, económicas y ecológicas de la cuenca. En este sentido, existe una alianza internacional denominada Alianza para la Gestión del Agua (AWS) que se encarga de planificar y aplicar, en un contexto determinado, un plan de gestión sostenible e integrada de los recursos hídricos.

La AWS es una alianza mundial de miembros que incluye empresas, ONG y el sector público. Los miembros contribuyen a la sostenibilidad de los recursos hídricos locales mediante la adopción y promoción de un marco universal para el uso sostenible del agua. Los miembros se comprometen a seguir un proceso de 5 pasos, que incluye: 1. Recopilar información técnica científica y sobre las partes interesadas en el lugar. 2. Compromiso y planificación 3. Aplicar 4. Evaluar 5. Comunicar y difundir.

Tras una auditoría externa realizada por AWS, la empresa puede obtener la certificación, lo que aporta beneficios demostrables en términos de relaciones con los clientes, aumento de la confianza de los inversores, mayor aceptabilidad social de sus actividades, mejora de la percepción de la marca y mejora del diálogo con los reguladores y los responsables políticos²³.

9.5 Promover métodos de producción alternativos

En términos generales, la UNES considera que es necesario desarrollar una estrategia agrícola a nivel nacional que promueva la agroecología como instrumento tecnológico para aplicar un sistema de producción resiliente al cambio climático. Se debe dar prioridad igualmente a la producción agrícola local para alimentar a la población, promover una economía justa y solidaria y las ventas directas entre el productor y el consumidor. Considerando la situación en el territorio, la estrategia debería incluir un proceso de devolución del acceso a la tierra a las comunidades para que puedan practicar una agricultura alimentaria local y respetuosa con la naturaleza.

Método alternativo de producción de caña de azúcar

Más concretamente, en la producción de caña de azúcar se pueden considerar varias vías alternativas al método de producción convencional. La elaboración de una propuesta de posibles alternativas es compleja y multifactorial y debe tener en cuenta los aspectos sociales, económicos y ecológicos locales y nacionales. No está en la ambición de esta investigación aportar soluciones completas y holísticas a este problema. No obstante, se debe procurar buscar y aplicar métodos alternativos en consonancia con los objetivos de la ley ambiental salvadoreña que establece que es importante "el manejo integrado de plagas y el uso de fertilizantes, fungicidas y plaguicidas naturales en la actividad agrícola, que mantengan el equilibrio de los ecosistemas, con el fin de lograr la sustitución

²³ Los detalles pueden descargarse del siguiente sitio web: <https://a4ws.org/the-aws-standard-2-0/>

gradual de los agroquímicos por productos naturales bioecológicos”(art. 50, LMA, 2012).

Para disminuir sus impactos ambientales, el modo de producción de la caña de azúcar debería tomar en cuenta los elementos siguientes citados en FAO (2003) y Pérez Iglesias et al. (2006):

1. Gestión y conservación del suelo: Actualmente, los suelos en la producción de azúcar no se gestionan adecuadamente, lo que provoca diversos fenómenos como la pérdida de suelo por erosión, la compactación del suelo, la salinización del suelo por riego inadecuado, la acidificación por el uso de fertilizantes químicos y la pérdida de materia orgánica (por ejemplo, por la práctica de la quema). Se pueden poner en marcha varios medios para reducir estos impactos. La primera es el abandono de la labranza profunda (para reducir la erosión), la incorporación de materia orgánica en el suelo a partir de los residuos de la cosecha verde con abono orgánico, la rotación de cultivos, la aplicación de un acondicionador líquido para aumentar la descomposición de los restos de la cosecha y aumentar la capacidad de absorción de agua del suelo, la cobertura del suelo con materia orgánica, etc.

2. Reducción y cambio de los sistemas de riego: el exceso de riego en cañales que se lleva a cabo en la actualidad provoca muchos problemas para el suelo como la salinización, la lixiviación de los nutrientes del suelo, la saturación del agua y el aumento de las plagas y las enfermedades de la caña de azúcar. Existen diferentes técnicas para aumentar la capacidad del suelo de retener la humedad, reducir la evaporación y regar los cultivos. Según las experiencias citadas en el documento de la FAO (FAO, 2003), el abandono del laboreo aumenta la capacidad del suelo para retener el agua disminuyendo la frecuencia de los riegos (de 10-12 a 20-25 días) y las cantidades utilizadas en un 50%. En segundo lugar, los restos de la cosecha verde se dejan en los campos, lo que reduce la evaporación y la erosión del suelo durante las lluvias. En tercer lugar, la instalación de sistemas de riego por goteo que se utiliza ya en el cultivo del azúcar en otros países, es el medio de riego más eficaz.

3. Lucha biológica para el control de plagas de insectos: estas técnicas se utilizan en Cuba desde hace 90 años y tienen como objetivo controlar las plagas de la caña de azúcar mediante la introducción de un depredador natural de la plaga. Podemos mencionar por ejemplo el uso de los insectos entomófagos, que son depredadores naturales de las plagas de la caña. Estos insectos se alimentan de larvas y plagas de insectos. También están los organismos entomopatógenos (virus, bacterias, hongos, nematodos, protozoos) que infectan y matan a las plagas de insectos.

4. Fertilización del suelo: La fertilización del suelo puede hacerse mediante el uso de residuos de cosechas, el uso de abono orgánico para aumentar la materia orgánica y el nitrógeno en el suelo (residuos orgánicos), la asociación con otros tipos de cultivos que mejora la disponibilidad de nutrientes, fija el nitrógeno y la estructura del suelo. Tratamiento del suelo con la aplicación de un acondicionador líquido para aumentar la descomposición de los restos de la cosecha.

5. Control de las malas hierbas: las malas hierbas compiten con la caña de azúcar por los nutrientes del suelo, la luz y el agua. Existen tres medios de control: medios físicos (escarda manual o mecánica), medios químicos (herbicidas), medios biológicos (uso de especies competitivas). Los cultivos ecológicos no utilizan herbicidas químicos. El control de las malas hierbas se lleva a cabo por medios preventivos (limitando la contaminación por zonas contaminadas de malas hierbas), el uso de variedades competitivas y la escarda física.

9.6 A nivel comunitario

La reducción de riesgos para las comunidades que trabajan en la aplicación de plaguicidas en los campos de caña de azúcar implica diferentes niveles de complejidad, como se muestra en la siguiente figura (31). Las comunidades que trabajan en el cultivo de la caña de azúcar son muy vulnerables desde el punto de vista socioeconómico y de salud. La abrumadora mayoría de habitantes de estas comunidades son agricultoras/es,

pero tienen grandes dificultades para acceder a la tierra para cultivarla. Les quedan pocas opciones de trabajo remunerado aparte de la fumigación de los campos. La lucha contra la pobreza y la creación de empleos alternativos sería una de las soluciones más sensatas, pero también más complejas, para romper esta dependencia de esta forma de trabajo. La organización del trabajo en los campos de caña de azúcar es uno de los principales obstáculos para mejorar las prácticas. En efecto, las comunidades que sufren los efectos de los plaguicidas que aplican no pueden negociar a solas con su mandador, jefe o terrateniente por temor a perder sus empleos o a sufrir represalias.

En este contexto, se recomienda que las negociaciones y la presión para hacer cumplir las medidas de seguridad sean llevadas a cabo por una organización de terceros (por ejemplo, un sindicato) o, idealmente, por el Ministerio de Trabajo sobre los propietarios o el empleador. Del mismo modo, las condiciones de trabajo impuestas aumentan la exposición de las/os trabajadoras/es y el medio ambiente a los plaguicidas. Ello se debe a que las/os trabajadoras/es reciben una remuneración por tarea, lo que da lugar a un

comportamiento inseguro en el uso de agroquímicos, a la falta de hidratación durante el trabajo y a una aplicación excesiva en las superficies tratadas. El salario precario que se paga por tarea también obliga a demás miembros de la familia a tener que sumarse a este trabajo, ya que si solo un miembro de la familia trabaja, el dinero no alcanza para suplir ni siquiera la alimentación mínima adecuada. Esto hace que también se incorporen personas con una condición de salud que no es recomendable para este trabajo (mujeres embarazadas, personas propensas a enfermedades renales). Hay mucho trabajo por hacer para defender los derechos de las/os trabajadoras/es. Esto lleva directamente al hecho de que los controles deben ser llevados a cabo por organismos gubernamentales autorizados para asegurar que se respete el marco jurídico de protección del personal y el medio ambiente (exámenes médicos, capacitación, equipo, registro de las condiciones meteorológicas durante la aplicación, etc.). A corto plazo, las medidas que deben aplicarse lo antes posible son la capacitación del personal en el uso de plaguicidas y el suministro de equipo de protección personal adecuado.

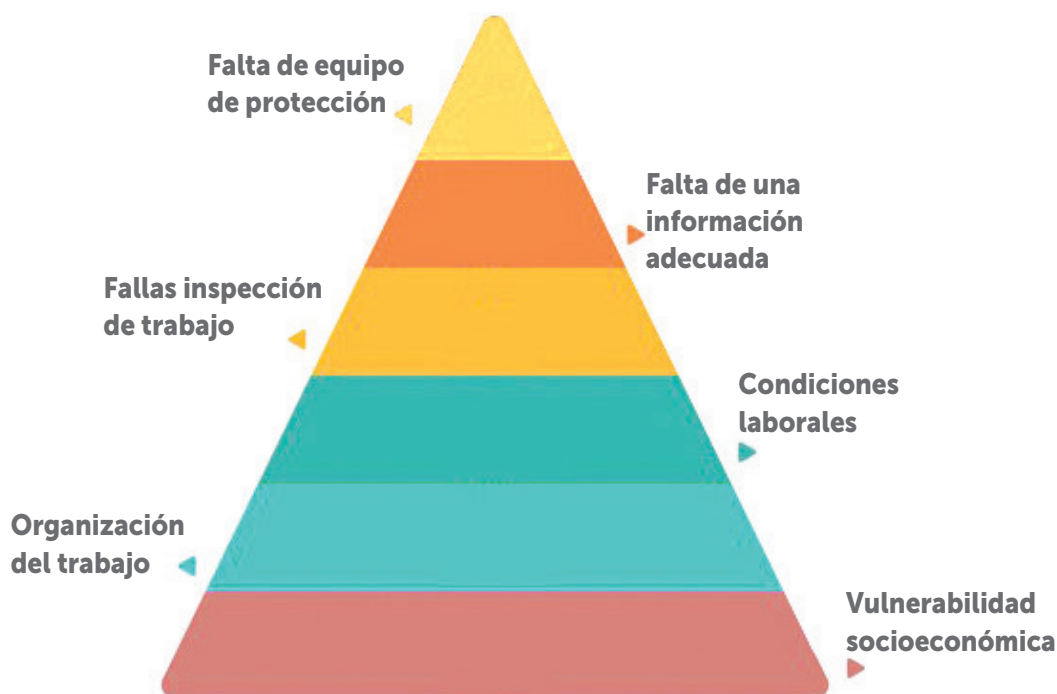


Figura 31. Factores impiden el uso más seguro de los pesticidas por parte de las comunidades al tratar los campos de caña de azúcar.

Los cañales del área de estudio están situados en gran medida a menos de 300 metros de distancia de casas, escuelas, patios de recreo, campos de producción de alimentos de la comunidad y aguas superficiales. Por lo tanto, es imposible asegurar que la dispersión de la pulverización aérea no acabe en las mujeres, los niños y los hombres que viven en los alrededores. También es imposible garantizar que la fumigación aérea no cause daños a los cultivos adyacentes y a las zonas protegidas. Existen alternativas a la fumigación aérea y a la práctica de la quema. La fumigación aérea no es una práctica necesaria para los cultivos de caña, sino que se emplea únicamente para aumentar el rendimiento del azúcar para su extracción, y promover mejores ganancias al dueño de la plantación. Debido al riesgo y los daños que este tipo de práctica causa a la salud de la población, a sus cultivos alimentarios y a la contaminación directa de los ecosistemas acuáticos, se recomienda la aplicación de una política que prohíba este tipo de fumigación.

En vista de la práctica actual de la fumigación aérea, que no se ajusta al marco jurídico de los Decretos No. 18 y 423, se recomienda establecer un sistema de vigilancia gubernamental y anónima en las comunidades. Este sistema de vigilancia debe recopilar fechas, horas, fotos, lugares, condiciones meteorológicas e información en caso que se haya emitido una notificación previa a la aplicación del pesticida, a fin de informar de los abusos y presentar las pruebas al Juzgado Ambiental de la zona en cuestión. El Estado debe generar las condiciones para darle seguimiento a las denuncias anónimas de la población.

Por último, se debería establecer un sistema de vigilancia de la exposición y la contaminación de la población en los diferentes compartimentos

ambientales (suelos, acuíferos, aguas superficiales, biota y sedimentos) en colaboración con el MARN, el MINSAL y las universidades del país. Estos últimos para controlar los niveles de contaminación en la región y así poder reforzar las medidas necesarias para reducir las emisiones y la exposición a estos agroquímicos.

Es claro que las leyes para proteger el ambiente no son efectivas si no existen los mecanismos de control y monitoreo para determinar cuando existen violaciones de la ley y así penalizar a los infractores. Por eso, es necesario que en El Salvador se establezcan dos cosas importantes:

- Fortalecer las capacidades del personal de la División de Medio Ambiente de la Policía Nacional Civil para monitorear y documentar las infracciones vinculadas a los decretos y leyes relacionados a la protección del medio ambiente (LMA, LANP, LSVA), al uso del agua (Decreto Legislativo N° 153) y al uso de plaguicidas y fertilizantes (LCP, Decreto Legislativo N° 18, N° 151, N° 423).
- El establecimiento de los mecanismos para confirmar las infracciones, como serían el establecimiento de laboratorios adecuados para la determinación de los pesticidas y metales pesados en las diferentes fases ambientales. Esto es sumamente importante y esencial para la protección, no solo del/la trabajador/a agrícola y sus familias, sino también de la población en general.

10

Referencias

- 91/414/CEE. (1991). Directiva Del Consejo de 15 de julio de 1991 Relativa a la Comercialización de Productos Fitosanitarios.
- Adama, A. (2011). Karmex 80 WG (p. 4).
- AE-LB. (2006). Le Prélèvement d'Echantillons en Rivière, Techniques d'Echantillonnage en Vue d'Analyses Physico-Chimiques (ISBN 10 : 2-916869-00-X, ISBN 13 : 978-2-916869-00-1; p. 134). Agence de l'Eau Loire-Bretagne.
- AGI. (2000). Paraquat in freshwater and marine water. Australian Government Initiative. <https://www.waterquality.gov.au/anz-guidelines/guideline-values/default/water-quality-toxicants/toxicants/paraquat-2000>
- Aline*, V. (2019). Entrevista del 13.12.2019 en una de las comunidades de El Castaño, El Chino, El Palmo, El Porvenir, Rancho San Marcos, San Marcoas Cañales, Santa Teresa con la esposa de un cortador de caña de azúcar con más de 5 años de experiencia.
- Allan, H. L., van de Merwe, J. P., Finlayson, K. A., O'Brien, J. W., Mueller, J. F., & Leusch, F. D. L. (2017). Analysis of sugarcane herbicides in marine turtle nesting areas and assessment of risk using in vitro toxicity assays. *Chemosphere*, 185, 656-664. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.029>
- ALRES. (2010). Ley General de Prevención de Riesgos en los Lugares de Trabajo (p. 21). Asamblea Legislativa de la República de El Salvador,.
- ALRES. (2013). Decreto N°473 (p. 14). Asamblea Legislativa de la República de El Salvador.
- Alvarez, E., & Rodríguez Pacas, G. (2001). Norma Salvadoreña NSO 13.07.01:08, Agua. Agua Potable (ICS 13.060.20; p. 20). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.
- Alvarez, M., Mortier, C. D., Jaureguiberry, S., & Venturino, A. (2019). Joint Probabilistic Analysis of Risk for Aquatic Species and Exceedence Frequency for the Agricultural Use of Chlorpyrifos in the Pampean Region, Argentina. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 38(8), 1748-1755. <https://doi.org/10.1002/etc.4441>
- Ames, R. G., Howd, R. A., & Doherty, L. (1993). Community Exposure to a Paraquat Drift. *Archives of Environmental Health: An International Journal*, 48(1), 47-52. <https://doi.org/10.1080/00039896.1993.9938392>
- APVMA. (2002). The NRA Review of Chlorpyrifos: Section 6—Environmental Assessment (p. 152). National Registration Authority for Agricultural and Veterinary Chemicals.
- APVMA. (2019). Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority [Text]. Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. <https://apvma.gov.au/node>
- Armas, E. D., Monteiro, R. T. R., Amâncio, A. V., Correa, R. M. L., & Guercio, M. A. (2005). Uso de agrotóxicos em cana-de-açúcar na bacia do Rio Corumbataí e o risco de poluição hídrica. *Química Nova*, 28(6), 975-982. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422005000600008>
- Au, A. M. (2003). PESTICIDES AND HERBICIDES | Types, Uses, and Determination of Herbicides. En B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)* (pp. 4483-4487). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00910-X>

- AVPMA. (2003). Evaluation of the new active Pyraclostrobin in the product Cabrio Fungicide (N.o ISSN1448-3076; p. 57). Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority.
- Ayers, R. S., & Westcot, D. W. (1994). Water quality for agriculture: Vol. M-56. <http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm#TOC>
- Barak, P., Jobe, B. O., Krueger, A. R., Peterson, L. A., & Laird, D. A. (1997). Effects of long-term soil acidification due to nitrogen fertilizer inputs in Wisconsin. *Plant and Soil*, 197(1), 61-69. <https://doi.org/10.1023/A:1004297607070>
- Barraza, J. E. (2003). Muestras de sedimentos de la plataforma costera de el salvador libres de niveles significativos de pesticidas.
- Basagoitia Quiñonez, J. C., & Flores, C. (2016). Impactos de la expansión en la Industria Azucarera en la zona Marino Costera de El Salvador: Caso Zona Baja río Paz (p. 85). Unidad Ecológica Salvadoreña, UNES.
- Battaglin, W. a, Meyer, M. t, Kuivila, K. m, & Dietze, J. e. (2014). Glyphosate and Its Degradation Product AMPA Occur Frequently and Widely in U.S. Soils, Surface Water, Groundwater, and Precipitation. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 50(2), 275-290. <https://doi.org/10.1111/jawr.12159>
- Bayer CAC. (2019a). Certero 48 SC. Bayer Centro America y Caribe. <https://www.bayercropscience-ca.com/Productos/Insecticidas/Certero.aspx>
- Bayer CAC. (2019b). Herbicidas. Bayer Centro America y Caribe. <https://www.bayercropscience-ca.com/Productos/Herbicidas.aspx>
- Bayer CAC. (2019c). Merlin Total. Bayer Centro America y Caribe. <https://www.bayercropscience-ca.com/es/Productos/Herbicidas/Merlin-Total.aspx>
- Bayer CropScience. (2019). Hedonal 60 SL. Bayer Centro America y Caribe. <https://www.bayercropscience-ca.com/es/Productos/Herbicidas/Hedonal.aspx>
- Bell, A. M., & Duke, N. C. (2005). Effects of Photosystem II inhibiting herbicides on mangroves—Preliminary toxicology trials. *Marine Pollution Bulletin*, 51(1), 297-307. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.051>
- Berta*, G. (2019). Entrevista del 13.12.2019 en una de las comunidades de El Castaño, El Chino, El Palmo, El Porvenir, Rancho San Marcos, San Marcoas Cañales, Santa Teresa con la esposa de un cortador de caña de azúcar con más de 5 años de experiencia.
- Bonanse, R. I., Filippi, I., Wunderlin, D. A., Marino, D. J. G., & Amé, M. V. (2017). The Fate of Glyphosate and AMPA in a Freshwater Endorheic Basin: An Ecotoxicological Risk Assessment. *Toxics*, 6(1). <https://doi.org/10.3390/toxics6010003>
- Bonmatin, J.-M., Noome, D. A., Moreno, H., Mitchell, E. A. D., Glauser, G., Soumana, O. S., Bijleveld van Lexmond, M., & Sánchez-Bayo, F. (2019). A survey and risk assessment of neonicotinoids in water, soil and sediments of Belize. *Environmental Pollution*, 249, 949-958. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.099>
- Boyd, C. E. (2004). Secchi disk visibility: Correct measurement, interpretation. *Global Aquaculture Alliance*. <https://www.aquaculturealliance.org/advocate/secchi-disk-visibility-correct-measurement-interpretation/>
- Bravo, V., Rodríguez, T., van Wendel de Joode, B., Canto, N., Calderón, G. R., Turcios, M., Menéndez, L. A., Mejía, W., Tatis, A., Abrego, F. Z., de la Cruz, E., & Wesseling, C. (2011). Monitoring pesticide use and associated health hazards in Central America. *International Journal of Occupational and Environmental Health*, 17(3), 258-269. <https://doi.org/10.1179/107735211799041896>
- Bretveld, R. W., Thomas, C. M., Scheepers, P. T., Zielhuis, G. A., & Roeleveld, N. (2006). Pesticide exposure: The hormonal function of the female reproductive system disrupted? *Reproductive Biology and Endocrinology*, 4, 30. <https://doi.org/10.1186/1477-7827-4-30>
- Buckalew, J. O., James, M., Laprevote, J., Knowles, R. B., & Waite, L. (1998). Water Resources Assessment of El Salvador (p. 71). US Army Corps of Engineers.
- CAD. (2013a). Cafetaleros resisten prohibición de agroquímicos—CentralAmericaData: Central America Data. *CentralAmericaData.com*, Información de Negocios. https://centralamericadata.com/es/article/home/Cafetaleros_resisten_prohibicin_de_agroquimicos

CAD. (2013b). El Salvador: Confirmarán prohibición a uso de agroquímicos—CentralAmericaData: Central America Data. CentralAmericaData.com, Información de Negocios. https://centralamericadata.com/es/article/home/El_Salvador_Confirmarn_prohibicin_a_uso_de_agroquimicos

CAD. (2013c). El Salvador: Prohíben uso de 53 agroquímicos—CentralAmericaData: Central America Data. CentralAmericaData.com, Información de Negocios. https://centralamericadata.com/es/article/home/El_Salvador_Prohben_uso_de_53_agroquimicos

CAD. (2013d). Flexibilización a ley de agroquímicos en El Salvador—CentralAmericaData: Central America Data. CentralAmericaData.com, Información de Negocios. https://centralamericadata.com/es/article/home/Flexibilizacin_en_Ley_de_agroquimicos_en_EL_Salvador

CAD. (2013e). Pérdidas en el agro por prohibición de agroquímicos—CentralAmericaData: Central America Data. CentralAmericaData.com, Información de Negocios. https://centralamericadata.com/es/article/home/Prdidas_en_el_agro_por_prohibicin_de_agroquimicos

CAD. (2013f). Sigue discusión sobre agroquímicos en El Salvador—CentralAmericaData: Central America Data. CentralAmericaData.com, Información de Negocios. https://centralamericadata.com/es/article/home/Sigue_discusin_sobre_agroquimicos_en_EL_Salvador

CAD. (2017). Agroquímicos: Un negocio creciente en Centroamérica—CentralAmericaData: Central America Data. CentralAmericaData.com, Información de Negocios. https://centralamericadata.com/es/article/home/Agroquimicos_Un_negocio_creciente_en_Centroamrica

CAD. (2019a). Café: Anuncian inversión en agroquímicos—CentralAmericaData: Central America Data. CentralAmericaData.com, Información de Negocios. https://centralamericadata.com/es/article/home/Caf_Anuncian_inversin_en_agroquimicos

CAD. (2019b). Plaguicidas en Centroamérica: Cambios en etiquetado—CentralAmericaData: Central America Data. CentralAmericaData.com, Información de Negocios. https://centralamericadata.com/es/article/home/Agroquimicos_en_Centroamrica_Cambios_en_etiquetado

Calderón, G. R. (1981). Aldrin, BHC, DDT y Heptacloro en aguas superficiales y subterráneas de la zona algodонера. Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Calvert, G. M., Plate, D. K., Das, R., Rosales, R., Shafey, O., Thomsen, C., Male, D., Beckman, J., Arvizu, E., & Lackovic, M. (2004). Acute occupational pesticide-related illness in the US, 1998-1999: Surveillance findings from the SENSOR-pesticides program. *American Journal of Industrial Medicine*, 45(1), 14-23. <https://doi.org/10.1002/ajim.10309>

Campos Hernández, G. X. (2016). Estudio De La Salinidad Del Acuífero Costero De La Cuenca Hidrográfica Cara Sucia, Ahuachapán. Universidad de El Salvador.

Canada, H. (2005, mayo 10). Guidelines for Canadian Drinking Water Quality: Guideline Technical Document – Paraquat [Research;guidance]. Aem. <https://www.canada.ca/en/health-canada/services/publications/healthy-living/guidelines-canadian-drinking-water-quality-guideline-technical-document-paraquat.html>

Cançado, J. E. D., Saldiva, P. H. N., Pereira, L. A. A., Lara, L. B. L. S., Artaxo, P., Martinelli, L. A., Arbex, M. A., Zanobetti, A., & Braga, A. L. F. (2006). The Impact of Sugar Cane–Burning Emissions on the Respiratory System of Children and the Elderly. *Environmental Health Perspectives*, 114(5), 725-729. <https://doi.org/10.1289/ehp.8485>

Carazo-Rojas, E., Pérez-Rojas, G., Pérez-Villanueva, M., Chinchilla-Soto, C., Chin-Pampillo, J. S., Aguilar-Mora, P., Alpízar-Marín, M., Masís-Mora, M., Rodríguez-Rodríguez, C. E., & Vryzas, Z. (2018). Pesticide monitoring and ecotoxicological risk assessment in surface water bodies and sediments of a tropical agro-ecosystem. *Environmental Pollution*, 241, 800-809. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.06.020>

Carlos*, D. (2019). Entrevista del 28.11.2019 en San Salvador con un ingeniero agrónomo que trabaja en la industria azucarera.

- Carvalho, F. P., Gonzalez-Farias, F., Villeneuve, J. P., Cattini, C., Hernandez-Garza, M., Mee, L. D., & Fowler, S. W. (2002). Distribution, fate and effects of pesticide residues in tropical coastal lagoons of northwestern Mexico. *Environmental Technology*, 23(11), 1257-1270. <https://doi.org/10.1080/09593332308618321>
- Casado-Martinez, M. C., Wildi, M., Ferrari, B. J. D., & Werner, I. (2016). Harmonization in sediment sampling and pretreatment for a better evaluation of trace elements content in Swiss sediment. 14th Swiss Geoscience Meeting 2016 in Geneva, Geneva, Switzerland.
- CCME. (2002). Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life: Total Particulate Matter (ISBN 1-896997-34-1; p. 13). Canadian Council of Ministers of the Environment.
- CCRIS. (2019). Chemical Carcinogenesis Research Information System (CCRIS) [TOXNET Toxicology Data Network]. NIH U.S. National Library of Medicine. <https://toxnet.nlm.nih.gov/newtoxnet/ccris.htm>
- CLV. (2018). Tiempo promedio en mayo en Ahuachapán, El Salvador—Weather Spark. Cedar Lake Ventures, Inc. <https://es.weatherspark.com/m/12278/5/Tiempo-promedio-en-mayo-en-Ahuachap%C3%A1n-El-Salvador#Sections-Rain>
- CMACCGP. (2016). Información para el Manejo sobre las Reformas a la Ley de Control de Pesticidas, Fertilizantes y Productos par Uso Agripecuario (Prohibición de Oesticidas: Acción Ética a Favor de la Vida, Elementos de Manejo, p. 8). Colectivo de Medio Ambiente y Cambio Climático Grupo Parlamentario del FMLN.
- CNRTL. (2019). PESTICIDE : Etymologie de PESTICIDE. Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. <https://www.cnrtl.fr/etymologie/pesticide>
- Cohen, M. (2007). Environmental toxins and health: The health impact of pesticides. *Australian Family Physician*, 36(12), 1002.
- Čolović, M. B., Krstić, D. Z., Lazarević-Pašti, T. D., Bondžić, A. M., & Vasić, V. M. (2013). Acetylcholinesterase Inhibitors: Pharmacology and Toxicology. *Current Neuropharmacology*, 11(3), 315-335. <https://doi.org/10.2174/1570159X11311030006>
- Consejo Federal Suizo. (2017). Plan d'action visant à la réduction des risques et à l'utilisation durable des produits phytosanitaires (p. 81).
- Corbel, V., Stankiewicz, M., Penner, C., Fournier, D., Stojan, J., Girard, E., Dimitrov, M., Molgó, J., Hougard, J.-M., & Lapied, B. (2009). Evidence for inhibition of cholinesterases in insect and mammalian nervous systems by the insect repellent deet. *BMC Biology*, 7, 47. <https://doi.org/10.1186/1741-7007-7-47>
- Damalas, C. A., & Eleftherohorinos, I. G. (2011). Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 8(5), 1402-1419. <https://doi.org/10.3390/ijerph8051402>
- Damien*, K. (2019). Entrevista 4 del 28.11.2019 en una de las comunidades de El Castaño, El Chino, El Palmo, El Porvenir, Rancho San Marcos, San Marcoas Cañales, Santa Teresa con un trabajador de la caña de azúcar contratado por más de 3 años para aplicar pesticidas.
- Davis, A. M., Thorburn, P. J., Lewis, S. E., Bainbridge, Z. T., Attard, S. J., Milla, R., & Brodie, J. E. (2013). Environmental impacts of irrigated sugarcane production: Herbicide run-off dynamics from farms and associated drainage systems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 180, 123-135. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2011.06.019>
- de Heer, C., Hakkert, B. C., & Bos, P. M. J. (2007). Special Tool: Acceptable Operator Exposure Level (AOEL)—Healthy working conditions in a global economy Conference under the German Presidency of the European Council, Dortmund, Germany.
- Dengia, A., & Lantinga, E. (2018). Effect of Pre-Harvest Cane Burning on Human Health, Soil Quality and Rate of Cane Moisture Loss in Ethiopian Sugarcane Plantations. *Advances in Crop Science and Technology*, 06(05). <https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000396>
- DEP Kentucky. (1997). Water Quality Parameters, River Assessment Monitoring Project, Kentucky Water Watch [Governmental]. Kentucky Department for Environmental Protection. <http://www.state.ky.us/nrepc/water/ramp/rmtests.htm>

- Deziel, N. C., Friesen, M. C., Hoppin, J. A., Hines, C. J., Thomas, K., & Freeman, L. E. B. (2015). A Review of Nonoccupational Pathways for Pesticide Exposure in Women Living in Agricultural Areas. *Environmental Health Perspectives*, 123(6), 515-524. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408273>
- Dinero. (2018). ¿Drones en la agricultura? Una opción para optimizar la economía del sector agrícola. dinero.com.sv. <https://www.dinero.com.sv/es/tecnologia/%C2%BFdrones-en-la-agricultura-una-opci%C3%B3n-para-optimizar-la-econom%C3%ADa-del-sector-agr%C3%ADcola.html>
- Disagro. (2011, julio 10). Nutrición de Cultivos / Fertilizantes. Disagro. <http://www.disagro.com/es/areas/nutricion-cultivos>
- Duke, N. C., Bell, A. M., Pederson, D. K., Roelfsema, C. M., & Bengtson Nash, S. (2005). Herbicides implicated as the cause of severe mangrove dieback in the Mackay region, NE Australia: Consequences for marine plant habitats of the GBR World Heritage Area. *Marine Pollution Bulletin*, 51(1), 308-324. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.040>
- EASHW. (2004). Directive 2004/37/EC - carcinogens or mutagens at work—Safety and health at work—EU-OSHA. European Agency for Safety and Health at Work. <https://osha.europa.eu/en/legislation/directive/directive-200437ec-carcinogens-or-mutagens-work>
- EC. (2003). Review report for the active substance pendimethalin (p. 43). European Commission.
- EC. (2009). Reglamento (CE) no 1107/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de Octubre de 2009 Relativo a la Comercialización de Productos Fitosanitarios (Diario Oficial de la Unión Europea L 309/1; p. 50). Comisión Europea.
- EC. (2011). Technical Guidance (TGD) For Deriving Environmental Quality Standards, Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC) (p. 204). <https://circabc.europa.eu/sd/a/0cc3581b-5f65-4b6f-91c6-433a1e947838/TGD-EQS%20CIS-WFD%2027%20EC%202011.pdf>
- EC. (2016). Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products, Evaluation of active substances Renewal of approval, Assessment Report Flocoumafen , Flocoumafen Product-type 14 (Rodenticide) (p. 30). European Commission.
- EC. (2017). Neonicotinoids [Text]. Food Safety - European Commission. https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/approval_active_substances/approval_renewal/neonicotinoids_en
- EC. (2019a). EU Pesticides database—Search active substance- European Commission. PLANTS-EU Pesticides database. <http://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=homepage&language=EN>
- EC. (2019b). FINAL Renewal report for the active substance chlorpyrifos (SANTE/11938/2019 Rev 1; p. 4). European Commission, Directorate-General For Health And Food Safety, Food and Feed Safety, Innovation, Pesticides and Biocides.
- ECETOC. (1995). Technical Report No. 67. The Role of Bioaccumulation in Environmental Risk Assessment: The Aquatic Environment and Related Food Webs. (ISSN-0773-8072-67; p. 145).
- ECHA. (2013). Guidance for Human Health Risk Assessment for Biocidal Active Substances and Biocidal Products (p. 432). European Chemicals Agency.
- ECHA. (2017a). Guidance on Information Requirements and Chemical Safety Assessment, Chapter R.7c: Endpoint specific guidance (ECHA-17-G-11-EN; p. 272). European Chemicals Agency.
- ECHA. (2017b). Guidance on Information Requirements and Chemical, Safety Assessment, Part C: PBT/vPvB Assessment (p. 22). European Chemicals Agency.
- ECHA. (2019). Search for Chemicals. ECHA, European Chemical Agency an Agency of the European Union. <https://echa.europa.eu/en>
- ECHA. (2020). Base de datos de inventario de C&L - ECHA, <http://echa.europa.eu/>. Agencia Europea de Sustancias y Preparados Químicos, ECHA. <https://echa.europa.eu/fr/home>

Ecotox Centre. (2016a). EQS - Vorschlag des Oekotoxentrums für: Glyphosat (p. 37). Ecotox Centre EAWAG-EPFL. <http://www.centrecotox.ch/prestations-expert/criteres-de-qualite-environnementale/propositions-de-criteres-de-qualite/>

Ecotox Centre. (2016b). EQS - Vorschlag des Oekotoxentrums für: Diuron (p. 40). Ecotox Centre EAWAG-EPFL. <http://www.ecotoxcentre.ch/expert-service/quality-standards/proposals-for-acute-and-chronic-quality-standards/>

Ecotox Centre. (2016c). EQS - Vorschlag des Oekotoxentrums für: S-Metolachlor (p. 58). Ecotox Centre EAWAG-EPFL. <http://www.ecotoxcentre.ch/expert-service/quality-standards/proposals-for-acute-and-chronic-quality-standards/>

Ecotox Centre. (2017). EQS - Vorschlag des Oekotoxentrums für: 2,4-Dichlorphenoxyessigsäure (2,4-D) (p. 41). Ecotox Centre EAWAG-EPFL. <http://www.ecotoxcentre.ch/expert-service/quality-standards/proposals-for-acute-and-chronic-quality-standards/>

Ecotox Centre. (2021). Propositions de critères de qualité en exposition aiguë et chronique pour une série de substances pertinentes pour la Suisse. Oekotoxzentrum. <https://www.centrecotox.ch/>

EcuRed. (2019). Río Paz (Guatemala-El Salvador)—EcuRed [Enciclopedias en línea]. Enciclopedia colaborativa en la red cubana. [https://www.ecured.cu/R%C3%ADO_Paz_\(Guatemala-El_Salvador\)](https://www.ecured.cu/R%C3%ADO_Paz_(Guatemala-El_Salvador))

EFSA. (2013). Toxicological data analysis to support grouping of pesticide active substances for cumulative risk assessment of effects on liver, on the nervous system and on reproduction and development (N.o 2013:EN-392; p. 88). National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), International Centre for Pesticides and Health Risk Prevention (ICPS), French agency for food, environmental and occupational health & safety (ANSES). www.efsa.europa.eu/publications

Eleonor*, E. (2019). Entrevista 3 del 28.11.2019 en una de las comunidades de El Castaño, El Chino, El Palmo, El Porvenir, Rancho San Marcos, San Marcoas Cañales, Santa Teresa con un trabajador de la caña de azúcar contratado por más de 10 años para aplicar pesticidas.

EMA. (2014). Guideline on the assessment of persistent, bioaccumulative and toxic (PBT) or very persistent and very bioaccumulative (vPvB) substances in veterinary medicinal products (p. 17). European Medicines Agency.

Enderlein, U. S., Enderlein, R. E., & Williams, P. (1996). Chapter 2—Water Quality Requirements (p. 29). Published on behalf of United Nations Environment Programme and the World Health Organization.

Ensminger, M. P., Budd, R., Kelley, K. C., & Goh, K. S. (2013). Pesticide occurrence and aquatic benchmark exceedances in urban surface waters and sediments in three urban areas of California, USA, 2008–2011. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(5), 3697-3710. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2821-8>

EPAL. (2018). Proposal for Harmonised classification and Labelling Based on Regulation (EC) No 1272/2008 (CLP Regulation), Annex VI, Part 2 International Chemical Identification: Trinexapac-ethyl (ISO); ethyl(1RS, 4EZ)4-[cyclopropyl(hydroxy)methylene]-3,5-dioxocyclohexanecarboxylate (p. 249). Environmental Protection Agency A. Juozapavicius St 9 LT-09311.

ERS. (2016). Party: El Salvador, Electronic Reporting System of the Basel Convention (p. 28). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

EU. (2015). Regulation (EU) No 528/2010 concerning the making available on the market and use of biocidal products, Assessment Report Triflururon ,Product-type 18 (Insecticide) (p. 105). European Commission.

EU. (2016). Regulation (EU) No 528/2012 concerning the making available on the market and use of biocidal products, Evaluation of active substances, Renewal of approval, Assessment Report, Flocoumafen Product-type 14 (Rodenticide) (p. 30). European Union.

EXTOXNET. (2019). Extension Toxicology Network (EXTOXNET) Pesticide Information Profiles. <http://ace.orst.edu/info/extoxnet/ghindex.html>

Fabrizi, L. (2014). Workshop Assessment of Persistent, Bioaccumulative and Toxic (PBT) substances in different EU legislations. Assessment under the Plant Protection Products Regulation, Brussel.

FAO. (2003). *Agricultura Orgánica, Ambiente y Seguridad Alimentaria*, Capítulo 7. Innovaciones de los Agricultores, Desarrollo de las Comunidades y Manejo Ecológico en la Agricultura Orgánica. Estudio de Caso (Colección FAO: Ambiente y Recursos Naturales N° 4). <http://www.fao.org/3/y4137s/y4137s0q.htm#TopOfPage>

Fenske, R. A., & Day, E. W. (2005). Assessment of Exposure for Pesticide Handlers in Agricultural, Residential and Institutional Environments. En *Occupational and Residential Exposure Assessment for Pesticides* (pp. 11-43). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470012218.ch1>

Fishel, F. M., & Ferrell, J. A. (2019). *Managing Pesticide Drift* (p. 15). Institute of Food and Agricultural Sciences (IFAS), University of Florida.

Fonseca, F., Nello, T., Leander, L., Sanchún, A., Saborío, J., & Chacón, Ó. (2018). *Zafra Verde en Caña de Azúcar. Guía Técnica para la Restauración en El Salvador* (p. 26). UICN, Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales.

Funes, M. (2013). *Repuesta del Presidente de la Republica Mauricio Funes a la Asamblea Legislativa del 01 octubre 2013*. (p. 14).

Gallo, M., & Rodríguez, E. (2010). *Wetlands and Livelihoods in the Lower Basin of the Río Paz* (p. 64). Wetland International.

García, A. M. (2003). Pesticide exposure and women's health. *American Journal of Industrial Medicine*, 44(6), 584-594. <https://doi.org/10.1002/ajim.10256>

GIH UES. (2021). *Informe Hidrogeológico de la Cuenca baja del río Paz del municipio de San Francisco Menéndez, Ahuachapán* (p. 32). Grupo de Investigación en Hidrogeología, Universidad De El Salvador.

Gilliom, R. J., Barbash, J. E., Crawford, G. C., Hamilton, A. H., Martin, D. M., Nakagaki, N., Nowell, L. H., Scott, J. C., Stackelberg, P. E., Thelin, G. P., & Wolock, D. M. (2007). *The Quality of Our Nation's Waters Pesticides in the Nation's Streams and Ground Water, 1992–2001* (Circular 1291; p. 184). U.S. Geological Survey.

Hagner, M., Mikola, J., Saloniemi, I., Saikkonen, K., & Helander, M. (2019). Effects of a glyphosate-based herbicide on soil animal trophic groups and associated ecosystem functioning in a northern agricultural field. *Scientific Reports*, 9(1), 8540. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44988-5>

Hamer, M. J., Goggin, U. M., Muller, K., & Maund, S. J. (1999). Bioavailability of lambda-cyhalothrin to *Chironomus riparius* in sediment-water and water-only systems. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 2(4), 403-412. <https://doi.org/10.1080/14634989908656978>

Hanke, I., Singer, H., & Hollender, J. (2008). Ultratrace-level determination of glyphosate, aminomethylphosphonic acid and glufosinate in natural waters by solid-phase extraction followed by liquid chromatography–tandem mass spectrometry: Performance tuning of derivatization, enrichment and detection. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 391(6), 2265-2276. <https://doi.org/10.1007/s00216-008-2134-5>

Herrera Murillo, J. (2011). *Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio del Aire de El Salvador: 2009* (p. 882). Ministro de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Herrera, R., Orantes Navarro, C., Almaguer, M., Alfonso, P., Bayarre, H., MD, I., Smith, M., MD, R., MD, C., MD, W., MD, F., MD, F., Magaña, S., MD, J., MD, E., Ventura, M., MD, J., Vela Parada, X., MD, S., & MD, C. (2014). *Clinical Characteristics of Chronic Kidney Disease of Nontraditional Causes in Salvadoran Farming Communities*. *MEDICC review*, 16, 39-48.

Herrera Valdés, R., Almaguer López, M., Orantes Navarro, C. M., López Marín, L., Brizuela Díaz, E. G., Bayarre Veá, H., Amaya Medina, J. C., Silva Ayçaguer, L. C., Vela Parada, X. F., Zelaya Quezada, S., Orellana de Figueroa, P., Smith González, M., Chávez Muñoz, Y., García Ortiz, X. A., & Bacallao Méndez, R. (2019). Chronic interstitial nephritis of nontraditional causes in Salvadoran agricultural communities. *Clinical Nephrology*. <https://doi.org/10.5414/CNP92S110>

- Herrera Valdés, R., Orantes, C. M., Almaguer López, M., López Marín, L., Arévalo, P. A., Smith González, M. J., Morales, F. E., Bacallao, R., Bayarre, H. D., & Vela Parada, X. F. (2015). Clinical characteristics of chronic kidney disease of non-traditional causes in women of agricultural communities in El Salvador. *Clinical Nephrology*, 83(7 Suppl 1), 56-63. <https://doi.org/10.5414/cnp83s056>
- Hoy, W., Giraldo, G., Martínez-Piedra, R., Reveiz, L., Escamilla-Cejudo, J., Caixeta, R., & Ordunez, P. (2017). Epidemic of Chronic Kidney Disease in Agricultural Communities in Central America. Case Definitions, Methodological Basis, and Approaches for Public Health Surveillance.
- HRW. (2004). El Salvador Turning a Blind Eye: Hazardous Child Labor in El Salvador's Sugarcane Cultivation (Vol. 16, No. 2 (B); p. 143). Human Rights Watch.
- Hughes, T. R., Acosta, J. R., & Lochhead, J. (2016). Large-Scale Sugarcane Production in El Salvador (p. 33). *Voices on the Border*.
- IARC. (2019). Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1–124 (Volumes 1–124; p. 17). International Agency for Research on Cancer, World Health Organization. <https://monographs.iarc.fr/list-of-classifications>
- ISDEM. (2012). Manual de Seguridad e Higiene Ocupacional (p. 16). Instituto Salvadoreño de Desarrollo Municipal.
- Islam, F., Wang, J., Farooq, M. A., Khan, M. S. S., Xu, L., Zhu, J., Zhao, M., Muños, S., Li, Q. X., & Zhou, W. (2018). Potential impact of the herbicide 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on human and ecosystems. *Environment International*, 111, 332-351. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2017.10.020>
- Jayaraj, R., Megha, P., & Sreedev, P. (2016). Organochlorine pesticides, their toxic effects on living organisms and their fate in the environment. *Interdisciplinary Toxicology*, 9(3-4), 90-100. <https://doi.org/10.1515/intox-2016-0012>
- Jayasumana, C., Gajanayake, R., & Siribaddana, S. (2014). Importance of Arsenic and pesticides in epidemic chronic kidney disease in Sri Lanka. *BMC Nephrology*, 15(1), 124. <https://doi.org/10.1186/1471-2369-15-124>
- Jayasumana, C., Gunatilake, S., & Senanayake, P. (2014). Glyphosate, Hard Water and Nephrotoxic Metals: Are They the Culprits Behind the Epidemic of Chronic Kidney Disease of Unknown Etiology in Sri Lanka? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11(2), 2125-2147. <https://doi.org/10.3390/ijerph110202125>
- Jayasumana, C., Orantes Navarro, C., Herrera, R., Almaguer, M., López-Marín, L., Silva, L. C., Ordunez, P., Siribaddana, S., Gunatilake, S., & Broe, M. (2016). Chronic interstitial nephritis in agricultural communities: A worldwide epidemic with social, occupational and environmental determinants. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 0, 1-8. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfw346>
- Judkins, D. R., & Wentz, S. P. (2019). Preliminary Ecological Risk Assessment for the Registration Review of Paraquat (p. 180). U.S. Environmental Protection Agency.
- Kasambala Donga, T., & Eklo, O. M. (2018). Environmental load of pesticides used in conventional sugarcane production in Malawi. *Crop Protection*, 108, 71-77. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.02.012>
- Kolpin, D. W., Kalkhoff, S. J., Goolsby, D. A., Sneek Fahrer, D. A., & Thurman, E. M. (1997). Occurrence of Selected Herbicides and Herbicide Degradation Products in Iowa's Ground Water, 1995. *Groundwater*, 35(4), 679-688. <https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1997.tb00134.x>
- Kolpin, D. W., Thurman, E. M., & Goolsby, D. A. (1996). Occurrence of Selected Pesticides and Their Metabolites in Near-Surface Aquifers of the Midwestern United States. *Environmental Science & Technology*, 30(1), 335-340. <https://doi.org/10.1021/es950462q>
- Konradsen, F., van der Hoek, W., Cole, D. C., Hutchinson, G., Daisley, H., Singh, S., & Eddleston, M. (2003). Reducing acute poisoning in developing countries—Options for restricting the availability of pesticides. *Toxicology*, 192(2), 249-261. [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(03\)00339-1](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(03)00339-1)

Kozel, R., & Wolter, R. (2018). Voluntary Groundwater Watch List Concept & Methodology (Based on final draft Groundwater Watch List Concept&Methodology 12.3; p. 38). The Common Implementation Strategy (CIS) Working Group on Groundwater.

Labrada, R., Caseley, J. C., & Parker, C. (1996). Manejo de Malezas para Países en Desarrollo (ISBN 92-5-303427-0; p. 127). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

LANP. (2005). Ley de Areas Naturales Protegidas (DECRETO No 579; p. 26). Asamblea Legislativa de la República de El Salvador,.

LCP. (2005). Ley sobre Control de Pesticidas, Fertilizantes y Productos para Uso Agropecuario (DECRETO No 315; p. 15). Asamblea Legislativa de la República de El Salvador,.

LeBlond, J. S., Woskie, S., Horwell, C. J., & Williamson, B. J. (2017). Particulate matter produced during commercial sugarcane harvesting and processing: A respiratory health hazard? *Atmospheric Environment*, 149, 34-46. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.012>

Lee, S.-J., Mehler, L., Beckman, J., Diebolt-Brown, B., Prado, J., Lackovic, M., Waltz, J., Mulay, P., Schwartz, A., Mitchell, Y., Moraga-McHaley, S., Gergely, R., & Calvert, G. M. (2011). Acute Pesticide Illnesses Associated with Off-Target Pesticide Drift from Agricultural Applications: 11 States, 1998–2006. *Environmental Health Perspectives*, 119(8), 1162-1169. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002843>

Lehtonen, M. (2009). Status Report on Sugar Cane Agrochemicals Management (p. 58). Ethical-Sugar.

Lewis, K., Tzilivakis, J., Warner, D., & Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. <http://uhra.herts.ac.uk/handle/2299/17565>

Lewis, S. E., Brodie, J. E., Bainbridge, Z. T., Rohde, K. W., Davis, A. M., Masters, B. L., Maughan, M., Devlin, M. J., Mueller, J. F., & Schaffelke, B. (2009). Herbicides: A new threat to the Great Barrier Reef. *Environmental Pollution*, 157(8), 2470-2484. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.03.006>

Lidsky-Haziza, D., & Bouatou, Y. (2017). *Maladie Rénale Chronique* (p. 13). HUG, Hôpitaux Universitaires Genève.

Lincer, J., Haynes, M., & Klein, M. (1976). The Ecological Impact of Syntectic Organic Compounds on Estuarine Ecosystems (EPA/600/3-76/075 (NTIS PB259943); p. 364). U.S. Environmental Protection Agency.

LMA. (2012). Ley del Medio Ambiente (DECRETO No 233; p. 48). Asamblea Legislativa de la República de El Salvador,.

López, A., Ribó, A., Quinteros, E., Mejía, R., Alfaro, D., Beltetón, W., Henández, C., Pleités, E., López, D., & Orantes Navarro, C. (2015). Riesgo de exposición a contaminantes nefrotóxicos en las comunidades Las Brisas, El Salvador. 1-16.

López, D., Ribó, A., Quinteros, E., Mejía, R., López, A., Jovel, R., Vandervort, D., & Orantes Navarro, C. (2013, diciembre 9). Heavy metals, arsenic, and pesticide contamination in an area with high incidence of chronic kidney disease of non-traditional causes in El Salvador.

LSVA. (2005). Ley de Sanidad Vegetal y Animal (DECRETO No 524; p. 18). Asamblea Legislativa de la República de El Salvador,.

MacDonald, D. D., Ingersoll, C. G., & Berger, T. A. (2000). Development and Evaluation of Consensus-Based Sediment Quality Guidelines for Freshwater Ecosystems. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 39(1), 20-31.

MacDonald, D. D., R. S. Carr, Calder, F. D., Long, E. R., & Ingersoll, C. G. (1996). Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters. *Ecotoxicology*, 5(4), 253-278.

MAG. (2000). Diario Oficial Tomo n°347, Acuerdo Ejecutivo No. 151 (27/06/2000). Ministerio de Agricultura y Ganadería.

MAG. (2004). Acuerdo Ejecutivo No. 18. (29/01/2004) (p. 8). Ministerio de Agricultura y Ganadería Dirección General de Sanidad Vegetal División de Registro y Fiscalización.

MAG. (2011). Instructivo para las Aplicaciones Aereas de Insumos Agricolas (Diario Oficial.-San Salvador, 1 de julio de 2011; p. 7). Ministerio de Agricultura y Ganaderia Direccion General de Sanidad Vegetal Division de Registro y Fiscalizacion.

MAG. (2012). Recopilacion de Informacion sobre Caña de Azucar en El Salvador. Zafra 2011-2012. (p. 21). Ministerio de Agricultura y Ganaderia.

MAG. (2013). Recopilacion de Informacion sobre Caña de Azucar en El Salvador. Zafra 2012-2013. (p. 21). Ministerio de Agricultura y Ganaderia.

MAG. (2018). Anuario de Estadísticas Agropecuarias, El Salvador, 2017-2018. (p. 94). Ministerio de Agricultura y Ganaderia, División de Estadísticas Agropecuarias.

MAG. (2019a). Listado de Productos Registrados. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Sanidad Vegetal y Animal. División de Registro y Fiscalización.

MAG. (2019b). Listados de Importaciones Septiembre 2018—Agosto 2019. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección General de Sanidad Vegetal y Animal. División de Registro y Fiscalización.

MAG. (2019c). Ministerio de Agricultura y Ganadería: Filosofía. <http://www.mag.gob.sv/filosofia/>

MARN. (2010). Fichas de las Áreas de Conservación GEF/ Banco Mundial. (p. 271). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

MARN. (2013a). Diputados aprobaron dictamen que prohíbe el uso de 53 agroquímicos. Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. <http://www.marn.gob.sv/diputados-aprobaron-dictamen-que-prohibe-el-uso-de-53-agroquimicos/>

MARN. (2013b). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos 2013 (p. 32). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

MARN. (2013c). Zafra Verde. <http://www.marn.gob.sv/zafra-verde/>

MARN. (2017a). Informe de la Calidad del Agua de los Ríos de el salvador (p. 84). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

MARN. (2017b). Plan Nacional de Gestión Integrada del Recurso Hídrico de El Salvador, con Énfasis en Zonas Prioritarias (p. 279). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

MARN. (2019). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales: Filosofía. <http://www.marn.gob.sv/filosofia/>

Marthaler, E., & Gabriel, S. (2010). Field-Guide: 3 steps for working in fragile and conflict-affected situations (WFCS) (p. 76). HELVETAS Swiss Intercooperation.

Matta, M. B., McKinne, D., Barraza, E., & Sericano, J. (2002). Hurricane Mitch Reconstruction/Gulf of Fonseca. Contaminant Survey and Assessment (p. 52). U.S. National Oceanic and Atmospheric Administration.

Maximus*, A. (2019). Entrevista 1 el 28.11.2019 en una de las comunidades de El Castaño, El Chino, El Palmo, El Porvenir, Rancho San Marcos, San Marcoas Cañales, Santa Teresa con un cortador de caña de azúcar con más de 10 años de experiencia.

McMahon, P. (2010). Oxidation/Reduction (Redox). USGS science for changing world.

Medardo, L., & Molina, J. E. (2016). Guía Técnica de Buenas Prácticas Agrícolas del Cultivo de Caña de Azúcar en El Salvador. (p. 158). Fundación del Azúcar (FUNDAZUCAR).

Meister, R. T. (1992). Farm Chemicals Handbook. Meister Publishing Company. Willoughby, OH.

Mejía, R., Quinteros, E., López, A., Cedillos, H., Orantes, C. M., Valladares, E., & López, D. L. (2014). Prácticas en el manejo de plaguicidas en la agricultura de El Salvador: Un ejemplo de 42 agricultores con enfermedad Renal Crónica en el Bajo Lempa. Copyright © 2014 by authors and Scientific Research Publishing Inc., 20.

Mejía, R., Quinteros, E., López, A., Ribó, A., Cedillos, H., Orantes Navarro, C., Valladares, E., & López, D. (2015). Manejo de Plaguicidas en la Agricultura.

Miles, C. J., & Pfeuffer, R. J. (1997). Pesticides in canals of South Florida. Archives of Environmental Contamination and Toxicology, 32(4), 337-345. <https://doi.org/10.1007/s002449900194>

MINSAL. (2015a). Boletín Epidemiológico (Semana 25 (del 21 al 27 de junio 2015); p. 18). Ministerio de Salud.

MINSAL. (2015b). Encuesta nacional de enfermedades crónicas no transmisibles en población adulta de El Salvador ENECA-ELS.

MINSAL. (2018). Causas más frecuentes de Consulta Ambulatoria tendidas en la Red de Establecimientos de Salud del MINSAL según Lista Internacional de Enfermedades de la CIE-10 (p. 31). Ministerio de Salud.

MINSAL. (2019). Ministerio de Salud de El Salvador: Filosofía. MINSAL. <https://www.salud.gob.sv/filosofia/>

Mitchell, C., Brodie, J., & White, I. (2005). Sediments, nutrients and pesticide residues in event flow conditions in streams of the Mackay Whitsunday Region, Australia. *Marine Pollution Bulletin*, 51(1), 23-36. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.036>

Mnatzaganian, C. L., Pellegrin, K. L., Miyamura, J., Valencia, D., & Pang, L. (2015). Association between sugar cane burning and acute respiratory illness on the island of Maui. *Environmental Health*, 14(1), 81. <https://doi.org/10.1186/s12940-015-0067-y>

Moore, M. T., Bennett, E. R., Cooper, C. M., Smith, S., Shields, F. D., Milam, C. D., & Farris, J. L. (2001). Transport and fate of atrazine and lambda-cyhalothrin in an agricultural drainage ditch in the Mississippi Delta, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 87(3), 309-314. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00148-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00148-7)

Moret, J. (2014). Estimation de la Biomasse de Canne par Modélisation et Télédétection. Université de la Réunion U.F.R de Sciences et Technologies.

NAD. (2019a). Land Preparation. Netafim's Agriculture Department, Sugarcane, Agronomic Practices,. http://sugarcane.crops.com/agronomic_practices/planting_time/

NAD. (2019b). Nutrient Deficiency Symptoms. Netafim's Agriculture Department, Sugarcane, Agronomic Practices,. http://sugarcane.crops.com/agronomic_practices/planting_time/

NAD. (2019c). Plagas y Enfermedades. Netafim's Agriculture Department, Sugarcane, Agronomic Practices,. http://sugarcane.crops.com/agronomic_practices/planting_time/

NIDDK. (2017). What Is Chronic Kidney Disease? National Institute of Diabetes and Digestive and Kidney Diseases. <https://www.niddk.nih.gov/health-information/kidney-disease/chronic-kidney-disease-ckd/what-is-chronic-kidney-disease>

Nielson, E., Nørhede, P., Boberg, J., Isling, L. K., Kroghsbo, S., Hadrup, N., Bredsdorff, L., Mortensen, A., & Larsen, J. C. (2012). Identification of Cumulative Assessment Groups of Pesticides (p. 304). European Food Safety Authority.

Nikolaidis, E. (2017). Chapter 12—Relevance of Animal Testing and Sensitivity of End Points in Reproductive and Developmental Toxicity. En R. C. Gupta (Ed.), *Reproductive and Developmental Toxicology (Second Edition)* (pp. 211-224). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804239-7.00012-3>

Nomen, R., Sempere, J., Chávez, F., de López, N. A., & Rovira, M. D. (2012). Measurement of pollution levels of organochlorine and organophosphorus pesticides in water, soil, sediment, and shrimp to identify possible impacts on shrimp production at Jiquilisco Bay. *Environmental Science and Pollution Research International*, 19(8), 3547-3555. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0916-y>

Nordstrom, D., McCleskey, R., & Ball, J. (2009). Sulfur geochemistry of hydrothermal waters in Yellowstone National Park: IV Acid-sulfate waters. *Applied Geochemistry*, 24, 191-207. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2008.11.019>

NORMAN. (2013). NORMAN Prioritisation framework for emerging substances (N° W604002510; p. 62). NORMAN Association, Network of reference laboratories and related organisations for monitoring and bio-monitoring of emerging environmental substances, Working Group on Prioritisation of Emerging Substances.

NORMAN. (2020). NORMAN, Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances, Database System, Substance Factsheets. norman. <https://www.norman-network.com/nds/>

Nowell, L. H., Norman, J. E., Ingersoll, C. G., & Moran, P. W. (2016). Development and application of freshwater sediment-toxicity benchmarks for currently used pesticides. *Science of The Total Environment*, 550, 835-850. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.081>

NRA. (2000). Evaluation of the new active Carfentrazone-Ethyl in the product AFFINITY 400 DF HERBICIDE (p. 51). National Registration Authority for Agricultural and Veterinary Chemicals.

NY DEC. (2002). Thiamethoxam—Registration of Special Local Need Labeling for Actara Insecticide (EPA Reg. No. 100-938) 6/02. New York State Department of Environmental Conservation. http://pmep.cce.cornell.edu/profiles/insect-mite/propetamphos-zetacyperm/thiamethoxam/thiameth_sln_0602.html

OEHHA. (2019). California Office of Environmental Health Hazard Assessment, Pesticides Reports, Notices and Documents. <https://oehha.ca.gov/pesticides/pesticides-reports-notices-and-documents>

Okkerman, P. C., & van der Putte, I. (2002). Endocrine Disrupters: Study on Gathering Information on 435 Substances with Insufficient Data (Final Report N.o B4-3040/2001/325850/MAR/C2; p. 279). European Commission DG ENV.

Ongley, E. D. (1997). Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos (p. 154). Food and Agriculture Organization.

ONU. (2019). Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone Montréal, 16 septembre 1987. United Nations Treaty Collection. https://treaties.un.org/pages/ViewDetails.aspx?src=TREATY&mtdsg_no=XXVII-2-a&chapter=27&clang=_fr

OPS. (2008). Clasificación Estadística Internacional de Enfermedades y Problemas Relacionados con la Salud (Publicación Científica No. 554; p. 1164). Organización Panamericana de la Salud.

Orantes, C., Herrera, R., Brizuela, E. G., Bayarre, H., MD, E., MD, L., MPH, E., MPH, N., MD, J., MD, D., Vela Parada, X., MD, S., MD, D., & Orellana, P. (2014). Epidemiology of Chronic Kidney Disease in Adults of Salvadoran Agricultural Communities. *MEDICC review*, Vol 16, 23-30.

Orantes, C., López, M. A., Galbán, P. A., Hernández, M. D., Valdés Herrera, R., Silva Ayçaguer, L. C., & Amaya, M. D. (2020). The chronic kidney disease epidemic in El Salvador: The influence of agrochemicals. *Revista Cubana de Medicina Tropical*, 72(2):e531, 26.

Orantes, C. M., Almaguer, M. M., Alonso, P., Díaz, M., Hernández, S., Herrera-Valdés, R., & Silva, L. C. (2019). The Chronic Kidney Disease Epidemic in El Salvador: A Cross-Sectional Study. *MEDICC Review*, 21(2-3), 29-37.

Orantes, C. M., Herrera, R., Almaguer, M., Brizuela, E. G., Núñez, L., Alvarado, N. P., Fuentes, E. J., Bayarre, H. D., Amaya, J. C., Calero, D. J., Vela, X. F., Zelaya, S. M., Granados, D. V., & Orellana, P. (2014). Epidemiology of Chronic Kidney Disease in Adults of Salvadoran Agricultural Communities. *MEDICC Review*, 16(2), 23-30.

Orantes Navarro, C., Herrera, R., Almaguer, M., Bayarre, H., Orellana, P., & Brizuela, E. G. (2014). Epidemiological characterization of chronic kidney disease in agricultural communities in El Salvador. *MEDICC Rev*, 15, 23-30.

Orantes-Navarro, C. M., Herrera-Valdés, R., Almaguer-López, M., Brizuela-Díaz, E. G., Alvarado-Ascencio, N. P., Fuentes-de Morales, E. J., Bayarre-Vea, H. D., Calero-Brizuela, D. J., Vela-Parada, X. F., & Zelaya-Quezada, S. M. (2016). Chronic kidney disease in children and adolescents in salvadoran farming communities: NefroSalva pediatric study (2009–2011). *MEDICC Review*, 18(1-2), 15-21.

Orantes-Navarro, C. M., Herrera-Valdés, R., Almaguer-López, M., López-Marín, L., Vela-Parada, X. F., Hernandez-Cuchillas, M., & Barba, L. M. (2017). Toward a Comprehensive Hypothesis of Chronic Interstitial Nephritis in Agricultural Communities. *Advances in Chronic Kidney Disease*, 24(2), 101-106. <https://doi.org/10.1053/j.ackd.2017.01.001>

- Oregon, A., Gravois, K., & Spaunhorst, D. (2017). Sugarcane Ripener Recommendations for 2017 (p. 4). USDA-ARS, Sugarcane Research Unit.
- Osa*, A. (2019). Entrevista del 13.12.2019 en una de las comunidades de El Castaño, El Chino, El Palmo, El Porvenir, Rancho San Marcos, San Marcoas Cañales, Santa Teresa con con la esposa de un cortador de caña de azúcar con más de 5 años de experiencia.
- Ospina, A. (2014). Plagas y enfermedades de la caña de azúcar. https://prezi.com/wxm_shhr-_vv/plagas-y-enfermedades-de-la-cana-de-azucar/
- Pankhurst, C. (2006). Effects of Pesticides Used in Sugarcane Cropping Systems on Soil Organisms and Biological Functions Associated with Soil Health (p. 39). Sugar Yield Decline Joint Venture.
- Pascal*, A. (2019). Entrevista del 13.12.2019 en una de las comunidades de El Castaño, El Chino, El Palmo, El Porvenir, Rancho San Marcos, San Marcoas Cañales, Santa Teresa con un líder de la comunidad.
- Pérez Iglesias, H., Santana Aguilar, I., & Rodríguez Delgado, I. (2006). Manejo Sostenible de Tierras en la Producción de Caña de Azúcar Tomo I. Universidad Técnica De Machala.
- Peruzzo, P. J., Porta, A. A., & Ronco, A. E. (2008). Levels of glyphosate in surface waters, sediments and soils associated with direct sowing soybean cultivation in north pampasic region of Argentina. *Environmental Pollution*, 156(1), 61-66. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.01.015>
- Plant, J. A., Kinniburgh, D. G., Smedley, P. L., Fordyce, F. M., & Klinck, B. A. (2003). 9.02—Arsenic and Selenium. En H. D. Holland & K. K. Turekian (Eds.), *Treatise on Geochemistry* (pp. 17-66). Pergamon. <https://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/09047-2>
- PNUMA. (1992). Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación (p. 126). Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Convenio de Basilea.
- PubChem. (2020a). Tebufenozide Hazardous Substances DataBank Number: 7050 Related PubChem Records: Related CIDs: 91773. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/7050>
- PubChem. (2020b). Terbufos, Hazardous Substances DataBank Number: 6444 Related PubChem Records: Related CIDs: 25670. National Library of Medicine National Center for Biotechnology Information. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/6444>
- Quilubrisa. (2004). Rafaga 20 SL, Herbicida—Bipiridilo Paraquat (p. 2).
- Quilubrisa. (2017). Panfleto Herbamax 60 SL, Herbicida-Fenoxi-2,4-D (p. 2).
- Quinteros, E. R., & López, J. A. (2019). Acute pesticide poisonings epidemiology in El Salvador. *ALERTA Revista Científica Del Instituto Nacional de Salud*, 2(2), 125-134. <https://doi.org/10.5377/alerta.v2i2.7846>
- Ramirez Villanueva, G. (2020). Situación hidrológica en la cuenca del Aguacate, entrevista telefonica [Comunicación personal].
- Reis, F. C., Victória Filho, R., Andrade, M. T., Barroso, A. a. M., Reis, F. C., Victória Filho, R., Andrade, M. T., & Barroso, A. a. M. (2019). Use of Herbicides in Sugarcane in the São Paulo State. *Planta Daninha*, 37. <https://doi.org/10.1590/s0100-83582019370100064>
- Requena, L. F., & Mayton, B. A. (1991). Surface and Groundwater Contamination in selected Watersheds in Southwestern El Salvador (United States Agency for International Development). United States Agency for International Development.
- Reynoso, M. S., Arévalo Hernández, A., Velasco, A. F., & Álvarez Moya, C. (2014). Genetic damage in *Goodea atripinnis* (Goodeidae) and persistent organic-compounds in both Chapala and Sayula Lakes, in Mexico. *Hidrobiológica*, vol.24 no.3. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972014000300005

Ribó Arnau, A., Vela Parada, A., Quinteros, E., Mejía, R., Orantes, C. M., Molinas Daví, J., & López, D. L. (2014). GEONEFROSALVA, una plataforma SIG en software libre, para la caracterización de los Factores de Riesgo de la Enfermedad Renal Crónica de causas no tradicionales que afecta a la población agrícola de El Salvador. <https://dugi-doc.udg.edu/handle/10256/9037>

RITA. (2015). La culture de la canne à sucre (*Saccharum officinarum*) (Fiche D26; p. 4). Réseaux d'Innovation et de Transfert Agricole (RITA), Institut Karibéen et Amazonien de l'Élevage (IKARE)).

Robertson, D. R., & Allen, G. R. (2015). Peces Costeros del Pacífico Oriental Tropical: Sistema de información en línea—Versión 2.0 (p. 32). Instituto Smithsonian de Investigaciones tropicales, Balboa.

Rodríguez, M. I. (2014). Chronic kidney disease in our farming communities: Implications of an epidemic. *MEDICC Review*, 16(2), 77-78.

Rodriguez, M. I., Espinoza, E., & Menjívar, E. V. (2013). Informe de Labores 2012-2013 (p. 212). Ministerio de Salud de El Salvador. <https://www.transparencia.gob.sv/institutions/minsal/documents/13867/download>

Rubío, F. (1994). Informe del estado del medio ambiente marino en el área Pacífico de El Salvador (p. 205). Comisión Permanente del Pacífico Sur (CPPS).

Rüdel, H., Körner, W., Letzel, T., Neumann, M., Nödler, K., & Reemtsma, T. (2020). Persistent, mobile and toxic substances in the environment: A spotlight on current research and regulatory activities. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s12302-019-0286-x>

Sandoval, G. (2019). Intercambio de Información Técnica sobre las Importaciones de Fertilizantes y Productos Fitosanitarios [Comunicación personal].

SBC. (2011). Parties to the Basel Convention on the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal. <http://www.basel.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesSignatories/tabid/4499/Default.aspx>

SCAHT, & Ecotox Centre. (2018). Évaluation (éco) toxicologique du glyphosate – un produit phytosanitaire fait débat-Fiche d'information (p. 3). Swiss Centre for Applied Human Toxicology, Swiss Centre for Applied Ecotoxicology.

SCR. (2010). La Convention—Aperçu. Convention de Rotterdam, share responsibility. <http://www.pic.int/LaConvention/Aper%C3%A7u/tabid/1747/language/fr-CH/Default.aspx>

SCR. (2017a). Convenio de Rotterdam, Productos Químicos del Anexo III. Secretariat of the Convenio de Rotterdam. <http://www.pic.int/ElConvenio/ProductosQu%C3%ADmicos/AnexoIII/tabid/2031/language/es-CO/Default.aspx>

SCR. (2017b). Convenio de Rotterdam sobre el Procedimiento de Consentimiento Fundamentado Previo Aplicable a Ciertos Plaguicidas y Productos Químicos Peligrosos Objeto de Comercio Internacional (p. 53). Secretaría del Convenio de Rotterdam.

SERAS. (2007). Standard Operating Procedures, Groundwater Well Sampling (p. 21). Scientific, Engineering, Response & Analytical Services Contract.

Silva, V., Montanarella, L., Jones, A., Fernández-Ugalde, O., Mol, H. G. J., Ritsema, C. J., & Geissen, V. (2018). Distribution of glyphosate and aminomethylphosphonic acid (AMPA) in agricultural topsoils of the European Union. *Science of The Total Environment*, 621, 1352-1359. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.093>

Singh, M., & Sharma, S. D. (2008). Chapter 16—Benefits of Triazine Herbicides and Other Weed Control Technology in Citrus Management. En H. M. LeBaron, J. E. McFarland, & O. C. Burnside (Eds.), *The Triazine Herbicides* (pp. 199-209). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-044451167-6.50019-2>

Singh, Z., Kaur, J., Kaur, R., & Hundal, S. S. (2016). Toxic Effects of Organochlorine Pesticides: A Review. *American Journal of BioScience*, 4(3), 11. <https://doi.org/10.11648/j.ajbio.s.2016040301.13>

Søndergaard, M. (2009). Redox Potential. En G. E. Likens (Ed.), *Encyclopedia of Inland Waters* (pp. 852-859). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-012370626-3.00115-0>

- SSC. (2018). Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP), Texto y Anexos Enmendado en 2017 (p. 80). Secretaría del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes.
- SSC. (2019). Stockholm Convention, Implementation, Pesticide POPs. Stockholm Convention. <http://chm.pops.int/Implementation/PesticidePOPs/tabid/5359/Default.aspx>
- Stepa, R. A., Schmitz-Felten, E., & Brenzel, S. (2019). Carcinogenic, mutagenic, reprotoxic (CMR) substances. [https://oshwiki.eu/wiki/Carcinogenic,_mutagenic,_reprotoxic_\(CMR\)_substances](https://oshwiki.eu/wiki/Carcinogenic,_mutagenic,_reprotoxic_(CMR)_substances)
- Struger, J., Thompson, D., Staznik, B., Martin, P., McDaniel, T., & Marvin, C. (2008). Occurrence of Glyphosate in Surface Waters of Southern Ontario. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 80(4), 378-384. <https://doi.org/10.1007/s00128-008-9373-1>
- Stucki, P. (2010). Méthodes d'analyse et d'appréciation des cours d'eau en Suisse (UV-1026-F; p. 61). Office fédéral de l'environnement.
- Sundaram, K. M. S. (1997). Persistence of tebufenozide in aquatic ecosystems under laboratory and field conditions. *Pesticide Science*, 51(1), 7-20. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1096-9063\(199709\)51:1<7::AID-PS589>3.0.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/(SICI)1096-9063(199709)51:1<7::AID-PS589>3.0.CO;2-A)
- SYNGENTA AGRO S.A. (2015). GESAPRIM ® 90 WDG.
- Thi Hue, N., Nguyen, T. P. M., Nam, H., & Hoang Tung, N. (2018, febrero 25). Paraquat in Surface Water of Some Streams in Mai Chau Province, the Northern Vietnam: Concentrations, Profiles, and Human Risk Assessments [Research Article]. *Journal of Chemistry; Hindawi*. <https://doi.org/10.1155/2018/8521012>
- Thundiyil, J. G., Stober, J., Besbelli, N., & Pronczuk, J. (2008). Acute pesticide poisoning: A proposed classification tool. *Bulletin of the World Health Organization*, 86(3), 205-209. <https://doi.org/10.2471/BLT.08.041814>
- TOXNET. (2019). U.S. National Library of Medicine, Toxicology Data Network. <https://toxnet.nlm.nih.gov/>
- Trabanino, R. G., Aguilar, R., Silva, C. R., Mercado, M. O., & Merino, R. L. (2002). Nefropatía terminal en pacientes de un hospital de referencia en El Salvador. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 12, 202-206. <https://doi.org/10.1590/S1020-49892002000900009>
- Tt, D., Yh, Z., Y, Z., Sl, D., J, Z., Y, C., Yz, W., Gt, W., & Ls, H. (2019). Deriving water quality criteria for China for the organophosphorus pesticides dichlorvos and malathion. *Environmental Science and Pollution Research International*, 26(33), 34622-34632. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-06546-4>
- UMVF. (2014). Maladie rénale chronique chez l'enfant. Université Médicale Virtuelle Francophone- Campus de Pédiatrie - Collège National des Pédiatres Universitaires (CNPU). http://campus.cerimes.fr/media/campus/deploiement/pediatrie/enseignement/maladie_renale_enfant/site/html/3.html#3
- UNEP. (2002). Regionally Based Assessment of Persistent Toxic Substances: Central America and Caribbean Regional Report. (p. 145). United Nations Environment Programme Chemicals.
- UNEP. (2014). Status of ratifications of the Stockholm Convention. <http://chm.pops.int/Countries/StatusofRatifications/PartiesandSignatoires/tabid/4500/Default.aspx>
- US DA. (1984). Pesticide Background Statements, Vol. I Herbicides (Agriculture Handbook No. 633). United States Department of Agriculture.
- US EPA. (1992). Fact Sheet Number 230: Clethodim. U.S. Environmental Protection Agency.
- US EPA. (1995). Reregistration Eligibility Decision (RED) Ethephon (EPA 738-R-95-003; p. 258). U.S. Environmental Protection Agency.
- US EPA. (2000). Guidance for Assessing Chemical Contaminant Data for Use in Fish Advisories: Vol. Volume 2: Risk Assessment and Fish Consumption Limits (Third Edition). Office of Science and Technology Office of Water.
- US EPA. (2002). National Recommended, Water Quality Criteria: 2002 (p. 36). U.S. Environmental Protection Agency.

- US EPA. (2008). White Paper on Methods for Assessing Ecological Risks of Pesticides with Persistent, Bioaccumulative and Toxic Characteristics (p. 222). United States Environmental Protection Agency.
- US EPA. (2019). Paraquat: Preliminary Ecological Risk Assessment for Registration Review (N.o 061601; p. 180). U.S. Environmental Protection Agency.
- US EPA, OAR. (2016, abril 19). Particulate Matter (PM) Basics [Overviews and Factsheets]. US EPA. <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- USEPA, OCSPP. (2015a, abril 13). Aquatic Life Benchmarks and Ecological Risk Assessments for Registered Pesticides [Data and Tools]. US EPA. <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/aquatic-life-benchmarks-and-ecological-risk>
- US EPA, OCSPP. (2015b, junio 17). Assessing Human Health Risk from Pesticides [Collections and Lists]. US EPA. <https://www.epa.gov/pesticide-science-and-assessing-pesticide-risks/assessing-human-health-risk-pesticides>
- US EPA, U. S. E. P. (2013). Pesticides in Ground Water Database: A Compilation of Monitoring Studies: 1971-1991, National Summary. BiblioGov.
- US-EPA. (2019). Groups of Pesticides in Registration Review. EPA, United States Environment Protection Agency. <https://www.epa.gov/pesticide-reevaluation/groups-pesticides-registration-review>
- van Almsick, A. (2009, febrero). New HPPD-Inhibitors; A Proven Mode of Action as a New Hope to Solve Current Weed Problems [Text]. <https://doi.org/info:doi/10.1564/20feb09>
- van Leeuwen, L. C., Vos, J. H., & Mensink, B. J. W. G. (2008). Environmental risk limits for lambda-cyhalothrin (N.o 601716001/2008; p. 45). National Institute for Public Health and the Environment (RIVM).
- Vandervort, D., López, D., Orantes Navarro, C., & Rodríguez, D. (2014). Distribución espacial de la enfermedad renal crónica no especificada según el área cultivada y la temperatura del ambiente en El Salvador. MEDICC review, Vol 2.
- Vásquez-Jandres, M., Marinero, O., Funes, C. R., Solano, N., Caceros, E., Quintanilla, R., Paz, Q., & Henríquez, M. B. (2017). Factores de riesgo frente al cambio climático y parámetros introductorios de la calidad del agua en el área de conservación Barra de Santiago-El Imposible: El Uso de bioindicadores para su monitoreo. (p. 59). CENSALUD.
- Vervaeet, B. A., Nast, C. C., Jayasumana, C., Schreurs, G., Roels, F., Herath, C., Kojc, N., Samaee, V., Rodrigo, S., Gowrishankar, S., Mousson, C., Dassanayake, R., Orantes, C. M., Vuiblet, V., Rigother, C., D'Haese, P. C., & De Broe, M. E. (2020). Chronic interstitial nephritis in agricultural communities is a toxin-induced proximal tubular nephropathy. *Kidney International*, 97(2), 350-369. <https://doi.org/10.1016/j.kint.2019.11.009>
- Watts, M. (2013). Poisoning our Future Children and Pesticides (p. 176). Pesticide Action Network Asia and the Pacific.
- Werner, O. (2018). Guía para la identificación de enfermedades de la caña (p. 89). Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar.
- Whitemore, R. W., Immerman, F. W., Camann, D. E., Bond, A. E., Lewis, R. G., & Schaum, J. L. (1994). Non-occupational exposures to pesticides for residents of two U.S. cities. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 26(1), 47-59. <https://doi.org/10.1007/bf00212793>
- WHO. (2004). Children are facing high risks from pesticide poisoning. World Health Organisation. <https://www.who.int/mediacentre/news/notes/2004/np19/en/>
- WHO. (2006). Guidelines for drinking-water quality [electronic resource]: Incorporating first addendum. Vol. 1, Recommendations. – 3rd ed. (ISBN 92 4 154696 4; p. 595). World Health Organization.
- WHO. (2010a). Generic Risk Assessment Model for Indoor and Outdoor Space Spaying of Insecticides (ISBN 978 92 4 159954 2; p. 74). World Health Organization.
- WHO. (2010b). The WHO Recommended Classification of Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification 2009 (ISBN 978 92 4 154796 3; p. 81). World Health Organization.

Wildi, M. (2019). Visita de campo del 30/4/2019 en la microcuenca del Aguacate con ACMA.

Williams, R. J. P., & Fraústo da Silva, J. J. R. (2006). Chapter 2—Basic Chemistry of the Ecosystem. En R. J. P. Williams & J. J. R. Fraústo da Silva (Eds.), *The Chemistry of Evolution* (pp. 35-76). Elsevier Science Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-044452115-6/50045-2>

Wilson, P. C. (2010). *Water Quality Notes: Dissolved Oxygen* (N.o SL313; p. 8). University of Florida.

Wittmer, I., Junghans, H., Singer, H., & Stamm, C. (2014). *Micropolluant, Stratégie d'Évaluation pour les Micropolluants de Sources Non Ponctuelles. Etude réalisée sur mandat de l'OFEV*. Eawag, Dübendorf.

WPR. (2021). El Salvador Population 2021. *World Population Review*. <https://worldpopulationreview.com/countries/el-salvador-population>

Zúñiga, V. P., Azofeifa, I. V., Vargas Quinteros, M. C., & Hartig, F. A. (2010). Hydrogeochemistry in the coastal aquifer of the Uraba region. *9*(17), 11.

Zwetsloot, H. M., Nikol, L., & Jansen, K. (2018). The general ban on aerial spraying of pesticides of the European Union: The policy-making process between 1993-2009. *37*. <https://doi.org/10.18174/442443>

11

Anexos

11.1 Carta metodológica: Análisis del territorio sensible al conflicto

Organización de la actividad

Objetivo general: El objetivo de esta reunión es presentar a las comunidades destinatarias las intenciones de la UNES respecto al proceso de investigación previsto sobre el tema de la producción azucarera en el territorio, con el fin de planificar los pasos con la población de acuerdo con un enfoque sensible al conflicto.

Objetivo técnico: Los participantes utilizan las herramientas y conceptos aprendidos durante el diploma comunitario en los principios de la gestión integrada del agua y de la contaminación para facilitar el análisis del contexto del conflicto en el territorio en relación con la producción de azúcar. Se recogen observaciones cualitativas sobre los impactos positivos y negativos de los monocultivos de caña de azúcar.

Productos: Lista de los principales retos a los que se enfrentan las comunidades del territorio, mapa de actores y relaciones, lista de fuentes de tensión y conciliadores, análisis de riesgos y oportunidades, listas de observaciones sobre el territorio.

Material:

Tijera	Cuatro paquetes de marcadores (rojo, azul, verde, negro)
Lista de asistentes	Cámara fotográfica
Lista de viáticos	Hojas de color
Tabla para escribir	Cinta adhesiva
Proyector- cable eléctrico -computador	Papelógrafos

Agenda:

Bienvenida y presentación de los objetivos de la reunión
Introducción del proceso de investigación propuesto
Definición de los principales retos a los que se enfrentan las comunidades en relación con la investigación
Identificación de los actores clave del territorio en relación con la producción de azúcar y sus relaciones.
Identificación de las fuentes de tensión y de los elementos reconciliadores
Análisis de riesgos y oportunidades a través de investigaciones
Recopilación de información sobre los impactos socioambientales de los cultivos de azúcar
Síntesis y conclusiones

Contenido	Objetivos moderadores	Objetivos participantes	Metodología	Material	Tiempo
Bienvenida y presentación de los objetivos de la reunión	Presentar a los participantes el programa del día y los objetivos fijados. Demostrar la continuidad del proceso después del cierre del diploma.	Tome nota de la agenda del día y haga preguntas.	Presentación en Power Point	Computadora Proyector Extensión eléctrica Diapositivas	10 min
Introducción del proceso de investigación propuesto	La introducción despierta el interés de los participantes, pero también sus preguntas, dudas y/o reticencias.	Se informa a los participantes de las intenciones, objetivos y objetivos de la UNES en la investigación propuesta.	Presentación en Power Point	Diapositivas	15 min
Análisis de la fragilidad del contexto					
Definición de los principales retos a los que se enfrentan las comunidades en relación con la investigación	Los participantes enumeran los principales conflictos que existen en el territorio	Los participantes enumeran los conflictos pertinentes a los que están sujetos en sus territorios.	En pequeños grupos de 6 personas, los participantes enumeran los conflictos relevantes presentes a nivel territorial, juzgan sus intensidades (baja/media/fuerte) si hay una probabilidad de esca-lada durante el proceso de investigación y en el momento de la publicación, la cobertura mediática del informe.	Un papelógrafo con 3 columnas diferentes	20 min
Identificación de los actores clave del territorio en relación con la producción de azúcar y sus relaciones.	Los participantes identifican a todos los actores involucrados en el tema y caracterizan su relación.	Los participantes elaboran un mapa de los actores y sus relaciones.	En mapas redondos de colores de diferentes tamaños según la importancia o el poder, los participantes enumeran los actores involucrados en el tema. Los actores son colocados en un papelógrafo y sus relaciones se caracterizan por diferentes tipos de trazos.	Papeles de colores, cinta adhesiva, rotuladores	20 min
Identificación de las fuentes de tensión y de los elementos reconciliadores	Identificar las fuentes de tensión y los elementos de unión que unen a las personas en esta situación.	Los participantes identifican las fuentes de tensión y los elementos conciliadores.	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Qué lleva a tensiones en la situación actual? - ¿Cuáles son los elementos de conexión? - ¿Cuáles son las amenazas actuales para la paz y la estabilidad? - ¿En qué medida las tensiones afectan de manera diferente a las mujeres y a los hombres? - ¿Qué hace la gente junta a pesar de las tensiones? 	2 papelógrafos, uno con las fuentes de tensión y otro con los elementos conciliadores	20 min
Análisis de riesgos y oportunidades a través de investigaciones	Los participantes dan su opinión, recomendación y aceptan o rechazan los pasos de la investigación dependiendo de si son perjudiciales para la comunidad.	Los participantes juzgan los riesgos y oportunidades de cada etapa de la investigación y especifican las contribuciones que estarían dispuestos a hacer.	Un papelógrafo presenta los pasos previstos para la investigación y los participantes completos de acuerdo a los riesgos y oportunidades que ven durante el proceso y de acuerdo a los resultados.	Un papelógrafo con oportunidades y riesgos	20 min

Riesgos ambientales y sanitarios de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en El Salvador:

Contenido	Objetivos moderadores	Objetivos participantes	Metodología	Material	Tiempo
Recopilación de información sobre los impactos socio-ambientales de los cultivos de azúcar	Se recopilan y organizan las observaciones y percepciones de la comunidad.	Los participantes rellenan un papel de color mediante la observación y escriben en el reverso por qué creen que este impacto está parcial o totalmente relacionado con la presencia de monocultivos de caña de azúcar.	Técnica "La Colmena" 1) El facilitador pide a las/os participantes que formen grupos de 6, donde estén (es decir, en la misma sala). 2) Se invita a los grupos a responder a la pregunta: ¿Cuáles son mis observaciones personales y los hechos que he observado sobre la relación directa entre los monocultivos de caña de azúcar y su impacto en mi medio ambiente y qué me hace decir que provienen de este tipo de cultivo? 3) Las respuestas se escriben en papeles de colores y se pegan en diferentes papelógrafos según se trate de un impacto económico, ambiental o social.	3 papelógrafos con las principales clases sociales, ambientales y económicas	20 min
Debriefing y conclusión	Se revisan los distintos aspectos para que el comité pueda tomar una decisión sobre el progreso de la investigación y definir su apoyo.	Un liderazgo resume los resultados de las diferentes posiciones y toma una posición sobre el siguiente paso previsto y cómo se llevará a cabo.	Discusión en grupo y votación	Boletines de voto con preguntas que deben responderse sí/no con observaciones.	20 min

11.2 Cronología de los acontecimientos posteriores a la aceptación del decreto N.º 473

Tabla 32 Acontecimientos posteriores a la aceptación por parte de GANA y el FMLN de la revisión de la Ley de Plaguicidas

Fechas	Eventos	Referencias
5 septiembre 2013	Miembros del FMLN y de GANA acuerdan la revisión de la ley de control de plaguicidas y fertilizantes, que prohíbe 53 productos agroquímicos en El Salvador.	(CAD, 2013c)
10 septiembre 2013	El presidente y director de la Asociación de Beneficiadores de Café denuncia esta revisión, que prohíbe el uso de endosulfán, utilizado para combatir la broca y la prohibición de herbicidas porque la escarda manual es más cara (mano obra). El Consejo Ejecutivo Nacional (COENA) pide al presidente Mauricio Funes que estudie el decreto, el cual es considerado una amenaza para la seguridad alimentaria y para la economía del país.	(CAD, 2013a)
11 septiembre 2013	El lobby internacional agroindustrial CropLife (BASF, Bayer CropScience, Dow AgroSciences, DuPont, FMC Corporation, Monsanto, Sumitomo y Syngenta) informa que esta revisión podría reducir la producción agrícola en El Salvador en un 60%.	(CAD, 2013e)
19 septiembre 2013	El presidente Mauricio Funes recibe el decreto.	(Funes, 2013)
1 octubre 2013	El presidente Mauricio Funes devolvió el decreto con observaciones a la Asamblea Legislativa. El presidente ha mencionado que 42 sustancias incluidas en las listas ya están prohibidas por los acuerdos ministeriales nacionales y los convenios internacionales. Según el presidente, se creará un comité técnico para evaluar el riesgo, según los principios científicos, de las otras 11 sustancias activas mencionadas en el decreto.	(CAD, 2013d)
31 octubre 2013	Los diputados de la Asamblea Legislativa siguen debatiendo las 11 sustancias restantes sin llegar a un acuerdo. Angel Ibarra presidente de UNES) dijo que las 11 sustancias son las más vendidas en el país y las que presentan el mayor riesgo tóxico.	(CAD, 2013f)
27 noviembre 2013	La Comisión de Medio Ambiente y Cambio Climático del congreso establece un límite de 1 año para prohibir la venta de paraquat y de 2 años para las 52 sustancias restantes. La Comisión acepta la creación de un comité técnico para la evaluación de sustancias.	(CAD, 2013b)
2015-2016	Las importaciones de insecticidas, herbicidas y fungicidas aumentaron en un 6% en América Central.	(CAD, 2017)
11 marzo 2019	Las empresas centroamericanas tienen hasta el 20 de diciembre de 2020 para incorporar las nuevas normas de etiquetado del Sistema Globalmente Armonizado de productos de acuerdo a su toxicidad y peligrosidad.	(CAD, 2019b)
26 septiembre 2019	El Gobierno de El Salvador invirtió 3 millones de dólares en la compra de fungicidas (40775 litros) e insecticidas (30.000 litros) para los productores de café.	(CAD, 2019a)

11.3 Lista de los peligros ambientales

Ingrediente activo	Persistencia	Bioacumulación	Toxicidad	Movilidad
Fungicida				
Pyraclostrobin	-	potencialmente B	potencialmente T	M
Herbicida				
2,4-Dichlorophenonxyacetic acid	mP	no	T	mM
Ametrina	P	no	potencialmente T	mM
Atrazina	P	B	potencialmente T	mM
Carfentrazone	no	B	potencialmente T	mM
Cletodim	no	no	potencialmente T	M
Diuron	no	no	potencialmente T	mM
Ethoxysulfuron	no	no	potencialmente T	mM
Fluazifop	no	no	potencialmente T	M
Glifosato	no	no	probablemente no T	M
Glufosinate Ammonium	no	no	no	-
Hexazinonna	P	no	T	mM
Imazapic	no	mB	probablemente no T	mM
imazapir	no	no	T	mM
Indaziflam	mP	no	T+	mM
Isoxaflutole	No (producto de degradación P)	no	T	mM
Mesotrione	no	no	no	mM
Metribuzin	P	no	T	mM
Metsulfuron metil	-	n	T+	mM
Paraquat	mP	-	T	no
Pendimetalina	no	no	T	M
Picloram	P	no	probablemente no T	mM
S-metolacloro	no	no	potencialmente T	mM
Terbutrina	mP	no	T	mM
Topramezone	P	no	potencialmente T	mM
Insecticida				
Chlorantranilprole	mP	no	potencialmente T	mM
Clorpirifós	P	mB	T	M
Fipronil	P	no	T+	mM
Imidacloprid	mP	no	T+	mM
Lambda cihalotrina	P	n	T+	non
Tebufenonzide	no	no	potencialmente T	mM
Terbufós	no	no	T+	mM
Thiametoxan	P	no	potencialmente T	mM
Triflumuron	no	potencialmente B	T	M
Etefon	no	no	no	mM
Trinexapac-ethyl	no	no	no	mM
Coumatetralyl	no	no	no	-
Flocoumafen	mP	mB	mT	no

11.4 Priorización de las sustancias preocupantes a monitorear en el sistema acuático

El proceso de selección de las sustancias que se han de vigilar se llevó a cabo de acuerdo con los siguientes pasos. En primer lugar, las 39 sustancias se separaron según sus usos como herbicidas, insecticidas, fungicidas, rodenticidas y reguladores del crecimiento. Esto se hizo con el fin de obtener ingredientes activos representativos de cada grupo de uso.

Dentro de cada grupo, los diferentes ingredientes activos se priorizaron (lo que se denomina "Índice de prioridad") sumando las cantidades utilizadas por año normalizadas por el valor máximo de importación en el grupo y la puntuación de peligro resultante (capítulo 3.3) normalizada por el valor máximo en el grupo. La fórmula general utilizada para calcular el índice de prioridad del ingrediente activo i es la siguiente:

$$\text{Índice prioridad}_i = \frac{Cl_i}{Cl_{\max}} + \frac{Pu_i}{Pu_{\max}} \quad (4)$$

Cl_i : Cantidad importada del ingrediente activo i ;

Cl_{\max} : Cantidad máxima importada en el grupo

Pu_i : Puntuación PBMT²⁴ del ingrediente activo i ;

Pu_{\max} : Puntuación máxima PBMT en el grupo

Este índice general tiene en cuenta los indicadores de peligro (PBMT) y un indicador de exposición (cantidad utilizada). Lo ideal sería que también se consideraran las concentraciones de las mediciones ambientales de los diferentes ingredientes activos, pero no se dispone de estos datos para El Salvador.

Los histogramas que se presentan a continuación (Figura 32) clasifican los herbicidas e insecticidas en función de las cantidades utilizadas (A, B), de la puntuación de peligro de PBMT obtenida en el capítulo 3.3 (A', B') y, por último, según el índice general que integra estos dos últimos parámetros (A'', B'').

De la figura 32 se desprende que los ingredientes activos que deben vigilarse con carácter prioritario no son los mismos si su nivel de utilización o las características de peligro se consideran por separado. En los gráficos A'' y B'' de la figura 32 se clasifican las sustancias que deben ser objeto de vigilancia prioritaria según los indicadores de PBMT y las cantidades utilizadas.

²⁴ Persistencia, Bioacumulación, Movilidad, Toxicidad.

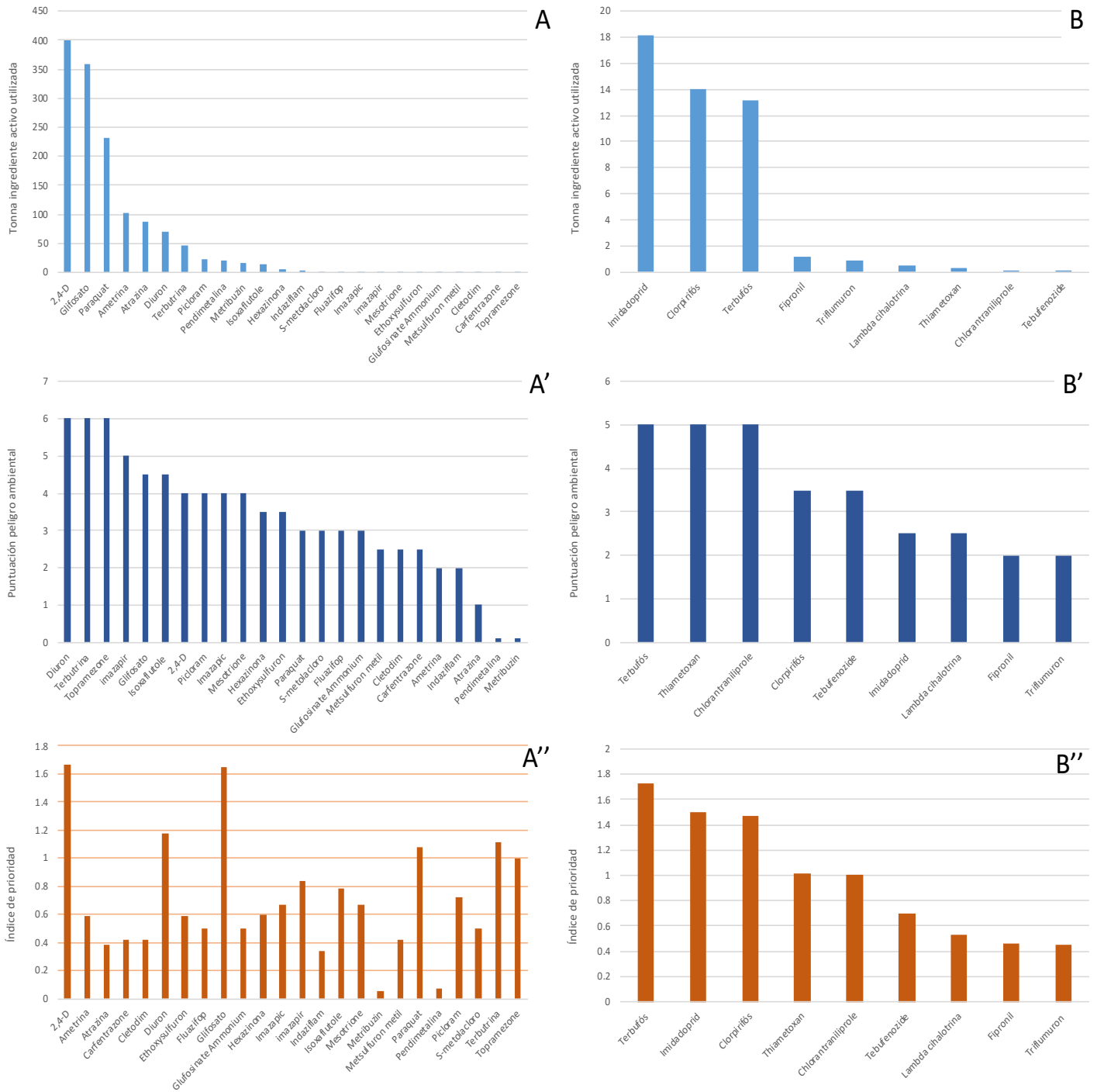


Figura 32 A) Clasificación de los herbicidas según sus usos, B) Clasificación de los insecticidas según sus usos, A') Clasificación de los herbicidas según su índice de peligrosidad PBMT, B) Clasificación de los insecticidas según su índice de peligrosidad PBMT, A'') Clasificación de los herbicidas según el índice de prioridad, B'') Clasificación de los insecticidas según la índice prioridad.

En la Tabla 33 se indican todos los índices de prioridad que se han de vigilar para cada grupo de uso. El índice de prioridad es menos pertinente en los grupos que contienen sólo 1 ó 2 sustancias activas como fungicidas,

reguladores del crecimiento y rodenticidas. Ello se debe a que este indicador es proporcional al grado de uso y peligro de las sustancias activas presentes en cada grupo.

11.5 Matriz ambiental a ser muestreada

Después de priorizar las sustancias de cada grupo, se definió la matriz ambiental (agua, sedimento, biota) en la que los ingredientes activos tienen una mayor probabilidad de ser encontrados. Los primeros indicadores que hay que considerar para juzgar el comportamiento de una sustancia química emitida al medio ambiente son el coeficiente de distribución aire-agua (constante de la ley de Henry, KH (Pa m³/mol)), la solubilidad (Sw (mg/L)), la hidrofobia (constante octanol-agua KOW), el coeficiente de adsorción del suelo (coeficiente de partición orgánica del agua mL/g) y el tiempo de biodegradación en los suelos (suelo DT50) (Gilliom et al., 2007).

También fueron buscados los tiempos de biodegradación en el agua y en el sistema de sedimentos - agua (DT50), ya que proporcionan una indicación de la pertinencia de medir el ingrediente activo originario con respecto a estos productos de degradación. Por ejemplo, el glifosato se degrada rápidamente en los suelos por las actividades microbianas en el AMPD (ácido aminometilfosfónico) (Hagner et al., 2019). Este producto de degradación se absorbe fuertemente en los suelos, que pueden encontrarse en los sedimentos en proporciones a menudo mucho mayores que la molécula madre (Battaglin et al., 2014; Bonansea et al., 2017; Silva et al., 2018).

Inicialmente, las sustancias activas con un log (Koc) o un log (Kow) inferior a 3 se asignaron a la fase acuosa y las que tenían un log (Kow) superior a 5 al sedimento (EC, 2011). Las sustancias entre el log(Koc) 3 y 5 se consideraron caso por caso.

Las sustancias activas con un log(BCF) mayor que 2 fueron marcadas como se puede encontrar en el biota (EC, 2011). También se identificaron sustancias activas con una alta probabilidad de aparecer en las aguas subterráneas en función de su persistencia y movilidad en el suelo.

Para confirmar la tendencia a encontrar estos productos químicos en los diferentes compartimentos ambientales, también se tuvo en cuenta el grado de ocurrencia de cada producto en las aguas superficiales, las aguas subterráneas, los sedimentos y la biota. El indicador de la presencia de sustancias químicas es el número de superaciones del límite de cuantificación (LOQ) en los diferentes compartimentos ambientales.

Estos niveles de ocurrencia y los datos correspondientes a estos diferentes indicadores se consultaron directamente en la base de datos "Fichas de sustancias" de la red NORMAN²⁵ (NORMAN, 2020). En el caso de las sustancias para las que no se disponía de mediciones de las concentraciones en el medio ambiente, la evaluación se basó en los capítulos sobre "destino ambiental" de los expedientes de registro de la EPA de los Estados Unidos²⁶ y la ECHA de la Unión Europea²⁷.

Según el cuadro (Tabla 33) que figura a continuación, la mayoría de los herbicidas (19) son polares con un logaritmo (Koc) inferior a 3 y deben encontrarse sobre todo en la fase acuática como para el 2,4-D, ametrina, atrazina, carfentrazona, cletodim, diurón, etoxisulfurón, fluazifop, glufosinato de amonio, hexazinona, imazapic, imazapir, isoxaflutol, mesotriona, metribuzin, metsulfurón metil, picloram, s-metolacloro, topramezona. A fin de comprobar si esta tendencia se confirma en las medidas ambientales, se buscaron estos ingredientes activos en la base de datos de NORMAN antes mencionada (NORMAN, 2020). Los herbicidas que se encuentran realmente en las aguas superficiales son el ácido 2,4-diclorofenoxiacético, la ametrina, la atrazina, el diurón, el etoxisulfurón, el glufosinato de amonio, la hexaxizona, el isoxaflutol, el picloram, el metribuzin y el metolaclor. No se dispone de datos sobre las sustancias restantes y se han marcado con una (x) en el cuadro que figura a continuación. En cuanto a los insecticidas, el clorantraniliprol, el firpronil, el imidacloprid, el terbufós, el tiametoxan también deben encontrarse más en la fase acuosa según sus valores de Koc. El clorantraniliprol, firpronil, imidacloprid y tiametoxan se

²⁵ Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances.

²⁶ United States Environmental Protection Agency.

²⁷ European Chemical Agency.

encontraban de hecho abrumadoramente en las aguas superficiales según los datos resumidos por la red NORMAN (NORMAN, 2020). El tiametoxan es muy móvil en los suelos y también puede ser preocupante por su potencial para contaminar las aguas subterráneas (NY DEC, 2002). Terbufos, con un Koc entre 500 y 5000 ha sido medido en aguas superficiales, sedimentos y biota. Su capacidad para bioconcentrarse en los organismos acuáticos también lo convierte en un peligro para los organismos de nivel trófico superior, incluidos los seres humanos (PubChem, 2020b).

Según el análisis de la PMT y la mPmM del capítulo 3.3, nueve plaguicidas tienen características fisicoquímicas que podrían hacer que esas sustancias se filtraran a los acuíferos. De estos nueve plaguicidas, seis se encontraban en realidad en acuíferos de Europa, entre ellos el 2,4-D, el clorantraniliprol, el fipronil, la hexazinona, el imidacloprid y el metribuzin. También se detectaron otros 16 plaguicidas presentes en esta lista de 39 sustancias activas en los acuíferos europeos, entre ellos ametrina, atrazina, diurón, etoxisulfurón, glifosato, imazapir, isoxaflutol, metsulfurón metilo, pendimetalina, picloram, piraclostrobin, s-metolacloro, terbufós, tiametoxan, triflumurón y trinexapac-etilo.

Los herbicidas que se absorben en los suelos y que pueden encontrarse con mayor probabilidad en los sedimentos son el cletodim, glifosato, glufosinato de amonio, indaziflam, paraquat, pendimetalina y terbutrina. Sin embargo, también hay que tener en cuenta lo siguiente. El cletodim puede ser muy persistente en el sistema acuático (agua y sedimento) pero tiene una baja probabilidad de acabar en el sistema acuático porque se degrada rápidamente en los suelos (US EPA, 1992). El glifosato se adsorbe a los suelos ricos en materia orgánica y puede entrar en el sistema acuático a través de la erosión (US DA, 1984). El glufosinato de amonio tiene un comportamiento ambivalente y su adsorción al suelo es de baja a alta (9.6-1229) (NORMAN, 2020). Sin embargo, se degrada rápidamente en el suelo y sus productos de degradación son ventajas móviles. En algunos casos, su producto de degradación de la MPP²⁸ podría llegar al acuífero (AESAs, 2005). La terbutrina puede encontrarse

en los sedimentos en función de su valor de Koc y de las constantes de degradación; sin embargo, también se ha mencionado que puede degradarse a hidroxiterbutrina, que puede lixiviarse en los acuíferos (Meister, 1992). Los tres ingredientes activos que probablemente se encuentren con alta probabilidad en los sedimentos y que son persistentes son el indaziflam, el paraquat y la pendimetalina.

Se prevé que los cuatro insecticidas siguientes tienen más probabilidades de aparecer en los sedimentos y las materias en suspensión: clorpirifós, lambda cihalotrina, tebufenozida y triflumurón. Aunque el clorpirifós se adsorbe a la materia orgánica del suelo, se mide con frecuencia en los ríos de Europa y, en menor medida, en los sedimentos (NORMAN, 2020). El clorpirifós es móvil en el medio ambiente debido también a su volatilidad por el follaje de los cultivos a los que se aplica, pero también por su deriva durante la aplicación (APVMA, 2002). Este insecticida también se acumula moderadamente en ciertos organismos acuáticos como la trucha o las ostras (APVMA, 2002). No se encontraron datos ambientales sobre la lambda cihalotrina, pero es moderadamente bioacumulativa, moderadamente persistente y se adsorbe fuertemente a la fase de partículas (van Leeuwen et al., 2008). Los ensayos de simulación han demostrado una alta acumulación en insectos y plantas acuáticas (Hamer et al., 1999; Moore et al., 2001). La tebufenozida es persistente y se adsorbe fuertemente a los suelos y sedimentos (Sundaram, 1997). El plaguicida también se acumula en los organismos acuáticos (BCF de 370) (PubChem, 2020a). La matriz de sedimentos y la biota deben tener prioridad para la vigilancia de estas dos sustancias anteriormente mencionadas. El triflumurón se midió en la superficie del agua, los sedimentos y la biota. Se acumula en algunos peces pero se excreta rápidamente (EU, 2015). Este ingrediente activo es de ligera a moderada persistencia (EU, 2015). Por su muy rápida degradación en el agua (DT50 2.9 days), sería preferible vigilarla en los sedimentos (DT50 23.9 days).

El fungicida piraclostrobin es una molécula con afinidad por el carbono orgánico con log(Koc) entre 3,8 y 4,2 (AVPMA, 2003). Ha sido monitoreada en aguas

²⁸ 3-methyl-phosphinico-propionic acid

superficiales, sedimentos y biota (NORMAN, 2020). Por su hidrofobia y su degradación más lenta en los suelos (12-166 días) y en los sedimentos (26-96 días), este fungicida debería tener una mayor probabilidad de ser ensayado en los sedimentos. Este fungicida se acumula en algunos peces con BCF de 247, 691 y 1195, pero se metaboliza y elimina rápidamente en estos organismos (AVPMA, 2003).

Dos reguladores de crecimiento están registrados para sus usos en los cañales. El Etefon tiene una movilidad baja a moderada en los suelos y se degrada rápidamente (DT50 5.1-8 días) (US EPA, 1995). Si se encuentra en el sedimento, también se degrada rápidamente (DT50 5.3 días) (US EPA, 1995). No se encontraron datos de mediciones ambientales para este producto. La movilidad del trinexapac-ethyl en el suelo es dependiente del pH con un aumento de la movilidad con el aumento del pH. La sustancia se degrada muy rápidamente en el suelo aeróbico (0.045-0.72 días) y relativamente rápido en el agua (25.9 días) y tiene muy pocas posibilidades de encontrarse en sedimento (EPAL, 2018).

El rodenticida flocoumafen no se importó a El Salvador entre septiembre de 2018 y agosto de 2019. Si se utilizaría, se esperaría que esté ligado al carbono orgánico del suelo o de los sedimentos. El flocoumafen es muy persistente en los suelos y también se considera muy persistente en el agua y los sedimentos. El flocoumafen también es altamente bioacumulativo en los peces (24300 L/kg) (EC, 2016). El coumatetralyl no dispone de los datos necesarios para evaluar su persistencia en el sistema acuático. El coumatetralyl se degrada rápidamente con la luz, pero puede persistir durante 30 a 86 días en los suelos. Se considera que tiene poca movilidad en suelos arenosos, arcillosos y franco-arenosos.

Aunque los ingredientes activos que pueden potencialmente bioacumularse según el BCF>100 son la pendimetalina, el glufosinato de amonio y la carfentrazona, sólo la pendimetalina muestra este tipo de comportamiento en el laboratorio con un BCF de 5000 (EC, 2003). La carfentrazona se metaboliza en pruebas en peces (NRA, 2000).

Tabla 33 Índice de prioridad, compartimento ambiental pertinente para el muestreo y el tiempo de biodegradación de los ingredientes activos.

Ingrediente activo	CAS	Familia química	Índice de prioridad	Compartimento ambiental				Biodegradación (DT50) ²		
				Agua Superficial	Agua Subterránea	Sedimento	Biota	Suelo	Agua	Agua-sedimento
Herbicidas										
2,4-D	94-75-7	Fenoxi	1.7	x	x			4.4	7.7	18.2
Glifosato	1071-83-6	Fosfoglucina	1.6		x	x		15	9.9	74.5
Diuron	330-54-1	Urea	1.2	x	x			118	9	9
Terbutrina	886-50-0	Triazina	1.1			x		74	27	60
Paraquat	1910-42-5	Bipiridilio	1.1			x		180	28	100
Topramezone	210631-68-8	Benzoylpyrazole	1.0	(x)				218	9.5	77.5
Imazapir	81334-34-1	Imidazolinona	0.8	(x)	x			11	-	-
Isoxaflutole	141112-29-0	Oxyacetamide	0.8	x	x			0.9	0.36	0.36
Picloram	1918-02-1	Piridina	0.7	x	x			82.8	80.8	196.1
Imazapic	104098-48-8	Imidazolinona	0.7	(x)				120	-	-
Mesotrione	104206-82-8	Tricetona	0.7	(x)				11.6	6.6	11.1
Hexazinona	51235-04-2	Triazina	0.6	x	x			105	-	-
Ametrina	834-12-8	Triazina	0.6	x	x			9.2	No biodeg.	1780
Ethoxysulfuron	126801-58-9	Sulfonilurea	0.6	x	x			18	17	30
S-metolaclo	51218-45-2	Cloroacetanilida	0.5	x	x			90	88	365
Fluazifop	69335-91-7	Propanoato arilico	0.5	(x)				7.4	7.2	24.5
Glufosinate Ammonium	77182-82-2	Fosfonico	0.5	x		(x)		21	-	-
Metsulfuron metil	74223-64-6	Sulfonilurea	0.4	(x)	x			10	115	224.3
Cletodim	99129-21-2	Oxima ciclohexandiona	0.4	(x)		(x)		0.55	7	16.7
Carfentrazone	128621-72-7	Triazolinona	0.4	(x)				1	0.1	0.21
Atrazina	1912-24-9	Triazina	0.4	x	x			28	-	80
Indaziflam	950782-86-2	Fluoroalquiltriazina	0.3			x		177	> 1000	2.7 - 4.8
Pendimetalina	40487-42-1	Dinitroanilina	0.1		x	x	x	182.3	4	16

Riesgos ambientales y sanitarios de los plaguicidas y fertilizantes utilizados en El Salvador:

Ingrediente activo	CAS	Familia química	Índice de prioridad	Compartimento ambiental				Biodegradación (DT50) ¹		
				Agua Superficial	Agua Subterránea	Sedimento	Biota	Suelo	Agua	Agua-sedimento
Metribuzin	21087-64-9	Triazinona	0.1	x	x			7.1	41	50
Insecticidas										
Terbufós	13071-79-9	Organofosfato	1.7	x	x		x	8	-	-
Imidacloprid	138261-41-3	Neonicotinoid	1.5	x	x			191	30	129
Clorpirifós	2921-88-2	Organofosfato	1.5	x		x	x	386	5	36.5
Thiametoxan	153719-23-4	Neonicotinoid	1.0	x	x			50	30.6	40
Chlorantraniliprole	500008-45-7	Diamida antranilica	1.0	x	x			597	-	-
Tebufenozide	112410-23-8	Hidrazina	0.7			x	x	-	30	-
Lambda cihalotrina	68085-85-8	Piretroide	0.5			x	x	175	0.24	15.1
Fipronil	120068-37-3	fenil pirazol	0.5		x		x	142	54	68
Triflumuron	64628-44-0	Benzoylurea	0.4		x		x	22	2.6	6.4
Fungicidas										
Pyraclostrobin	175013-18-0	Estrobilurina	2	x	x	x	x	41.9	2	28
Regulador de crecimiento										
Etefon	16672-87-0	Etileno	2.0					13.1	2.4	2.8
Trinexapac-ethyl	95266-40-3	Ciclohexanecarboxylate derivado	1.1	x	x	x	x	0.16	4.2	4.5
Rodenticidas										
Coumatetralyl	5836-29-3	Coumarina	2.0			x	x	89	-	-
Flocoumafen	90035-08-8	Coumarina	0.5			x	x	213	NA	NA

¹ La vida media (DT50) se define como el tiempo que tarda una cantidad de un compuesto en reducirse a la mitad por degradación.

11.6 Elección del laboratorio analítico

Se llevó a cabo una encuesta en diferentes laboratorios nacionales para evaluar sus capacidades analíticas con respecto a esta lista de sustancias. Los laboratorios consultados fueron el Laboratorio de Residuos de Sustancias Químicas y Biológicas MAG-OIRSA, el Laboratorio Nacional de Salud Pública, el Laboratorio de FUSADES.

De la lista buscada, sólo los 5 ingredientes activos y 1 producto de degradación pueden ser analizados a nivel nacional, incluyendo la atrazina, clorpirifós, glifosato, paraquat, terbutrina y AMPA. En general, las familias de plaguicidas que pueden analizarse en El Salvador son bupiridinio, carbamatos, organoclorados, organofosforados, fosfonoglicinas y triazinas. En el cuadro que figura a continuación se presenta la lista completa de sustancias que pueden analizarse (Tabla 34).

Tabla 34 Lista de sustancias activas con efectos plaguicidas que pueden analizarse en El Salvador.

Sustancia activa	Familia Química	OIRSA-MAG	LSP	FUSADES
Diquat	bipiridilos	X		
Paraquat	bipiridilos	X		
Oxamil	carbamatos		X	
Naftol	carbamatos	X		
Aldicarb	carbamatos	X	X	
Aldicarb sulfona	carbamatos	X		
Aldicarb sulfóxido	carbamatos	X	X	
Carbaril	carbamatos	X	X	
Carbofuran	carbamatos	X	X	
Hidroxicarbofuran	carbamatos	X	X	
Metiocarb	carbamatos	X		
Metomil	carbamatos	X	X	
Oxamil	carbamatos	X		
Propoxur	carbamatos	X	X	
Aldrin/Dialdrin	organoclorados	X	X	X
Clordano	organoclorados			X
DDT / DDD / DDE	organoclorados	X	X	X
Endosulfan I Endosulfan II Endosulfan Sulfato	organoclorados	X	X	X
Gamma HCH (Lindano)	organoclorados	X		
Heptaclor	organoclorados	X	X	
Heptacloroepóxido	organoclorados	X		X
Hexaclorobenceno	organoclorados	X		X
Lindano	organoclorados		X	X
Clorpirifos	organofosforado	X		
Diazinón	organofosforado	X		X
Diclorvos	organofosforado	X		
Etil Paratión	organofosforado	X		

Sustancia activa	Familia Quimica	OIRSA-MAG	LSP	FUSADES
Etión	organofosforado	X		X
Malation	organofosforado	X		X
Metil Paratión	organofosforado	X		X
Pirimifos Metil	organofosforado	X		
Trazofos	organofosforado	X		
AMPA	phosphonoglicine	X		
Glifosato	phosphonoglicine	X	X	
Atrazina	triazinas	X		
Simazina	triazinas	X		
Terbutilazina	triazinas	X		
Terbutrina	triazinas	X		

Los organofosforados, triazinas, carbamatos y organoclorados se analizan por familia química. Las sustancias buscadas pertenecen a diferentes familias químicas. Por estas razones, se analiza toda la lista de organofosforados y triazinas. A estas dos familias

químicas se han añadido análisis aislados de glifosato, AMPA y paraquat. Según las recomendaciones de un experto del laboratorio OIRSA-MAG, se han añadido a la lista los análisis de organoclorados.

11.7 Calidad organoléptica del agua de pozo en la zona de estudio al final de la temporada de lluvias

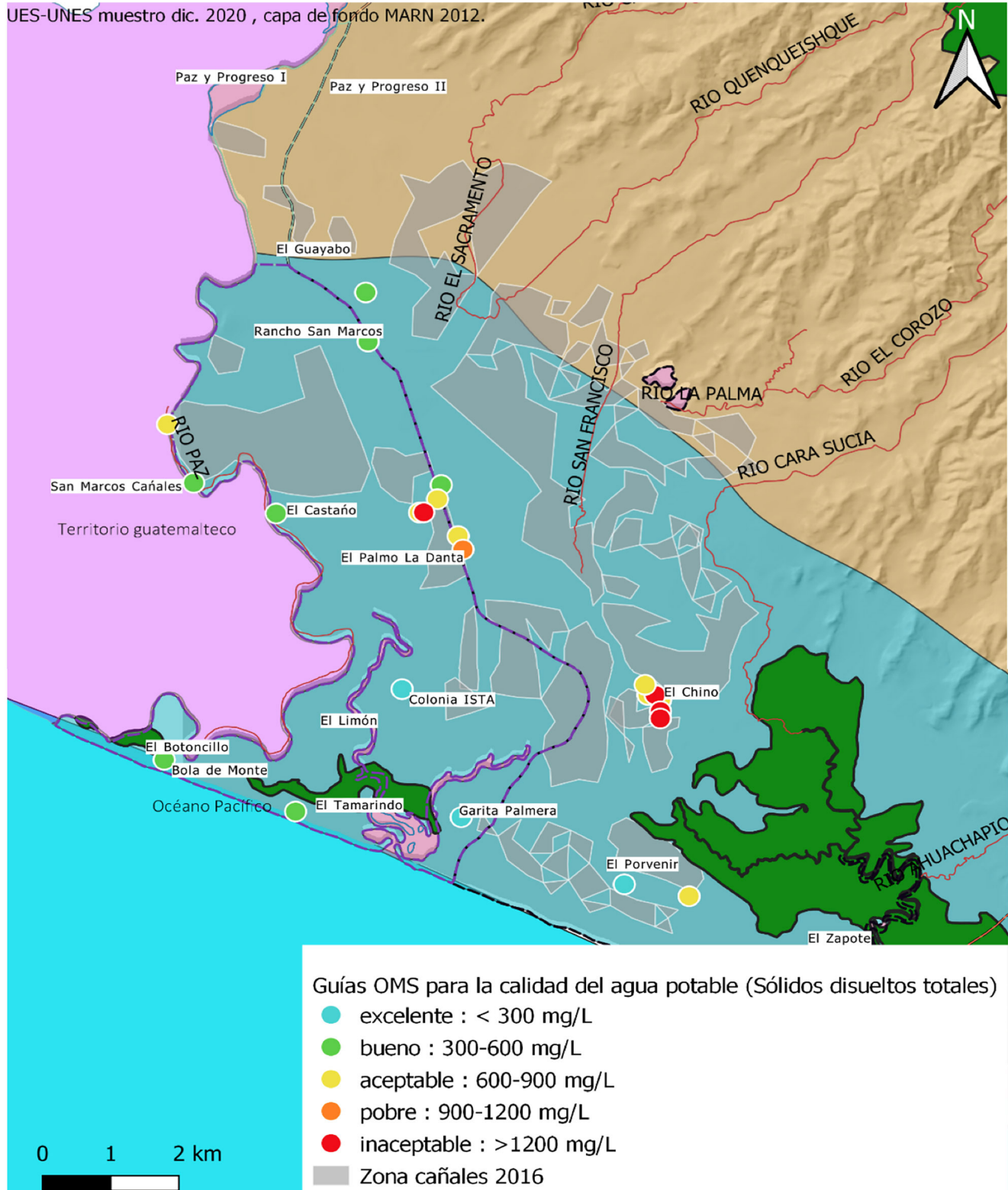


Figura 33 Calidad organoléptica del agua de los pozos de agua domestica de 9 comunidades de la microcuenca El Aguacate (diciembre 2020).

11.8 Evaluación de riego químico de plaguicidas muestreados

Tabla 35 Muestras puntuales de aminofosfato, bupiridilo y organofosforados en el agua del Río El Aguacate el 14 de octubre a las 1.30 pm am hasta 2.15 pm en la estación E7 y a las 11:05 am hasta 11.55 am en la estación E8.

Contaminantes	Interpretación		Sitios	Riesgo
	LOQ (µg/L)	Criterios de calidad ambiental	Estación arriba de los cañales E7-E8	CRi (cociente de riesgo)
Aminofosfonato				
Glifosato	64	120a	Nd	<1, no hay riesgo
Bupiridilos				
Paraquat	106	0.5b	Nd	No se puede evaluar
Organofosforados				
Clorpirifos	17	4.6*10 ⁻⁴ a	Nd	No se puede evaluar
Diazinón	21	0.1699c	Nd	No se puede evaluar
Diclorvos	38	0.132d	Nd	No se puede evaluar
Etil Paratión	16	0.013c	Nd	No se puede evaluar
Etión	118	0.028d	Nd	No se puede evaluar
Malation			Nd	
Metil Paratión	25	0.1c	Nd	No se puede evaluar
Pirimifos Metil	21	0.055c	Nd	No se puede evaluar
Triazofos	45	-	Nd	

Nd: Non detectado

LOQ: Limite de cuatificación del plaguicidas

a: Criterios de calidad de la exposición crónica del Centro Suizo de Ecotoxicología (Ecotox Centre, 2021).

b: Criterio cronico de calidad del agua en China.(Tt et al., 2019)

c: Criterio Concentración Continua (Criterion Continuous Concentration) de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 2015).

d: Valor de toxicidad aguda de Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US EPA, 2015).

Tabla 36 Muestras puntuales de bupiridilo y organofosforados en el agua de tres comunidades de la subcuenca El Aguacate el 14 de octubre 2020.

Contaminantes	Interpretación		Estaciones	Riesgo
	LOQ (µg/L)	Valores guía (µg/kg)	Pozo E2, E3, E5	CRi (cociente de riesgo)
Bupiridilos				
Paraquat*	106	7b	Nd	No se puede evaluar
Organofosforados				
Clorpirifos	17	30	Nd	<1, no hay riesgo
Diazinón*	21	-	Nd	
Diclorvos	38	-	Nd	
Etil Paratión**	16	-	Nd	
Etión	118	-	Nd	
Malation**		-	Nd	
Metil Paratión**	25	-	Nd	
Pirimifos Metil***	21	-	Nd	
Triazofos*	45	-	Nd	
Triazinas				
Ametrina	419	-	Nd	
Atrazina	280	100a	Nd	No se puede evaluar
Simazina	358	2a	Nd	No se puede evaluar
Terbutilazina	317	7a	Nd	No se puede evaluar
Terbutrina	370	-	Nd	

* Es poco probable que aparezca en el agua potable

** Aparece en el agua potable en concentraciones muy inferiores a las que son preocupantes para la salud

*** No se recomienda su uso para el control de vectores en el agua potable

a : WHO, 2006

b : Canadá, 2005

Tabla 37 Muestras puntuales de aminofosfato, bipiridilo y organofosforados en los sedimento del humedal de Garita Palmera el 13 de enero 2021.

Contaminantes	Interpretación		Estaciones	Riesgo
	LOQ (µg/L)	Valores guía (µg/kg)	Pozo E2, E3, E5	CRi (cociente de riesgo)
Aminofosfonato				
AMPA	53	280a	Nd	<1, no hay riesgo
Bipiridilos				
Paraquat	12	30e	detectado	<1, pero nose conoce los efectos a largo plazo
Organoclorinados				
Aldrin	0.1		Nd	
Dieldrin	0.12	0.72a	Nd	<1, no hay riesgo
Endrin	0.17	2.67b	Nd	<1, no hay riesgo
Endrin aldehido	0.11		Nd	
Endrin cetona	0.1		Nd	
Endosulfan sulfato	0.13	-	Nd	
Heptaclor	0.04		Nd	
Heptaclor epoxido	0.04	0.6b	Nd	<1, no hay riesgo
Hexaclorobenceno HCB	0.21		Nd	
Metoxiclor	0.13		Nd	
p, p' -DDT	0.18	1.19a	Nd	<1, no hay riesgo
p,p'-DDD	0.08	1.22a	Nd	<1, no hay riesgo
p,p'-DDE	0.11	2.07a	Nd	<1, no hay riesgo
α-endosulfan	0.04	0.0096c	Nd	No se puede evaluar
α-HCH	0.09		Nd	
β-endosulfan	0.06	0.032c	Nd	No se puede evaluar
β-HCH	0.19		Nd	
γ-HCH	0.23	0.32a	Nd	<1, no hay riesgo
δ-HCH	0.05		Nd	
Organofosforados				
Clorpirifos	17.3	0.041c	Na	No se puede evaluar
Diazinón	21.2	0.19c	Na	No se puede evaluar
Diclorvos	11.6		Na	
Étil Paratión	15.5		Na	
Etión	35.7		Na	
Malation	24.8		Na	
Metil Paratión	10.4	0.052c	Na	No se puede evaluar
Pirimifos Metil	21.4		Na	
Triazofos	45.1		Na	

Contaminantes		Interpretación	Estaciones	Riesgo
	LOQ (µg/L)	Valores guía (µg/kg)	Pozo E2, E3, E5	CRi (cociente de riesgo)
Triazinas				
Ametrina			Na	
Atrazina		13c	Na	
Simazina			Na	
Terbutilazina			Na	
Terbutrina			Na	

a: Threshold Effect Concentrations (TEC) para el medio estuarino: por debajo del cual no se esperan efectos adversos (MacDonald et al., 1996).
 b: Consensus-based Threshold Effect Concentrations (TEC) : por debajo del cual no se esperan efectos adversos (MacDonald et al., 2000).
 c: Threshold Effect Benchmark (TEB) : define una concentración por debajo de la cual los efectos adversos son improbables (Nowell et al., 2016).
 d: Predicted No Effect Concentration (PNEC) : concentración sin efectos previstos (Bonansea et al., 2017).
 e: Valor estimado aplicando un factor de seguridad de 1000 (EC, 2011) en el parámetro toxicológico de supervivencia aguda de 10 días en el anfípodos de agua dulce *Hyallela azteca* (NOAC ((no-observed adverse effect concentration)): 30 mg/kg de peso seco) (US EPA, 2019).

Tabla 38 Muestras puntuales de organoclorados y organofosforados en los peces del humedal de Garita Palmera el 13 de enero 2021.

Contaminante	Rendimiento analítico		Detección en los peces		Riesgo
	LOQ (mg/kg)	Valor límites calculada en los peces (mg/kg)			CRi (cociente de riesgo)
Organoclorinados					
Aldrin	1.00E-04		Nd		
Dieldrin	1.20E-04	2.06E-02	Nd		<1, no hay riesgo
Endrin	1.70E-04	1.24E-01	Nd		<1, no hay riesgo
Endrin aldehido	1.10E-04		Nd		
Endrin cetona	1.00E-04		Nd		
Endosulfan sulfato	1.30E-04	2.47E+00	Nd		<1, no hay riesgo
Heptaclor	4.00E-05	5.35E-03	Nd		<1, no hay riesgo
Heptaclor epoxido	4.00E-05		Nd		
Hexaclorobenceno HCB	2.10E-04	3.29E-01	Nd		<1, no hay riesgo
Metoxiclor	1.30E-04		Nd		
p, p' -DDT	1.80E-04		Nd		
p,p'-DDD	8.00E-05		Nd		
p,p'-DDE	1.10E-04		Nd		
Total DDT	3.70E-04	2.06E-01			<1, no hay riesgo
α-endosulfan	4.00E-05		Nd		
α-HCH	9.00E-05		Nd		
β-endosulfan	6.00E-05		Nd		
β-HCH	1.90E-04		Nd		
γ-HCH	2.30E-04	1.24E-01	Nd		<1, no hay riesgo
δ-HCH	5.00E-05		Nd		
Organofosforados					
Clorpirifos	1.73E-02	1.24E-01	Nd		<1, no hay riesgo
Diazinón	2.12E-02	2.88E-01	Nd		<1, no hay riesgo
Diclorvos	1.16E-02		Nd		
Etil Paratión	1.55E-02		Nd		
Etión	3.57E-02	2.06E-01	Nd		<1, no hay riesgo
Malation	2.48E-02		Nd		
Metil Paratión	1.04E-02		Nd		
Pirimifos Metil	2.14E-02		Nd		
Triazofos	4.51E-02		Nd		





Con el apoyo solidario de:




Asociación Unidad Ecológica Salvadoreña UNES
“Construyendo una sociedad unida y sustentable”

Calle Camagüey 6G, Colonia Yumuri, San Salvador.

 (+503) 2260-1465
 (+503) 2260-1480

 Correo: unes.elsalvador@gmail.com

 @uneselsalvador
 UNES_ElSalvador